

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución; el petróleo crudo se destila para separar al asfalto. Procesos similares producidos naturalmente han dado a yacimientos de asfaltos, en alguno de los cuales el material se encuentra prácticamente libre de materias extrañas, mientras que en otros está mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias.

En términos generales, se compone el asfalto de tres grupos de ingredientes fundamentales: aceites, resinas, y asfaltenos, estos tres constituyentes se disuelven mutuamente. Los asfaltenos son solubles en las resinas y ambos son portados en el aceite que actúa como vehículo. Los asfaltenos dan al asfalto su dureza y las resinas sus propiedades cementantes. Ambos en conjunto le imparten las propiedades cementantes, conservadores e impermeabilizantes que lo caracterizan. Los aceites a su vez proveen la movilidad y plasticidad del asfalto, haciendo que sea manejable para todos los usos. Las proporciones relativas de cada ingrediente del asfalto determinan su consistencia y sus características como medio cementante conservador.

El asfalto es un material de particular interés para el ingeniero civil porque es un aglomerante resistente muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combinan usualmente. Además es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. A pesar de ser una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinaria, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

Los asfaltos se clasifican en diferentes tipos, *Cemento asfáltico*, que es un asfalto refinado o una combinación de éste con un aceite fluidificante, cuya viscosidad es

apropiada para los trabajos de pavimentación. *Asfalto líquido*, que es un cemento asfáltico licuado con solventes como la gasolina (RC), el kerosén (MC) o un aceite liviano (SC). Su uso está muy limitado por efectos ambientales. *Emulsión asfáltica*, dispersión de glóbulos de cemento asfáltico dentro de agua en presencia de un agente emulsificante. Puede ser aniónica o catiónica, dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos.

Recientemente se han diseñado y estudiado nuevos métodos de caracterización de cementos asfálticos orientados a buscar métodos que puedan determinar la calidad de cementos asfálticos, en el comportamiento que éste tendrá en el pavimento y desempeño de sus propiedades de las mezclas asfálticas en servicio.

El Método Universal de Caracterización de Ligante, UCL evalúa los ligantes bituminosos a partir de una mezcla patrón cuya granulometría carece de llenante mineral, con el propósito de que la responsabilidad en la cohesión de la mezcla recaiga esencialmente en el ligante y no en lo que habitualmente se conoce como mástico (unión llenante mineral y asfalto).

El Método, que ya ha sido sometido a pruebas en diferentes países con resultados exitosos, sirve para determinar las propiedades ligantes de un asfalto, mediante la valoración de la cohesión en mezclas de granulometría abierta, empleando en ello los áridos con los cuales se va a trabajar en las obras viales. El método de ensayo que sirve de fundamento es el Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste. El ensayo consiste en introducir en la máquina de Los Ángeles, una probeta tipo Marshall fabricada con una granulometría especial (sin finos) y un contenido de asfalto definido y someterla al ensayo sin colocar en el molino ninguna carga abrasiva (esferas). Durante el ensayo se van desprendiendo por impacto y abrasión los áridos más superficiales de la probeta, determinándose, tras cumplirse diferente números de revoluciones, la pérdida de peso de la probeta referida, en tanto por ciento del peso inicial.

Las propiedades que se evalúan son: cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad árido-ligante y el envejecimiento. Al tratarse de un método de evaluación de ligantes y

no de diseño de mezclas, las características de las diferentes formas de condicionamiento de las briquetas no tienen que ver con las de las mezclas colocadas en la vía, sino con aquellas que establecen de manera clara los diferentes comportamientos de los ligantes.

1.2. JUSTIFICACION.

Al no existir muchas investigaciones acerca de los tipos de asfaltos que se utilizan en nuestro medio para formar la mezcla asfáltica como se ve, nace esta idea de caracterizarlos de acuerdo a los resultados que se obtengan en los ensayo de laboratorio una vez terminada la investigación correspondiente. Además de que el método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) evalúa las propiedades de los ligantes asfálticos aplicando un único ensayo, el ensayo cántabro de pérdida por desgaste; superando la sensibilidad de los métodos tradicionales, por cuanto se evalúa el contacto con el árido después del mezclado y compactado y no sobre el ligante original.

La investigación de este método es de mucha importancia, puesto que utilizan todos los materiales que conforman la mezcla asfáltica que se encuentran disponibles en nuestro medio, para así tener un Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) ajustado a las propiedades que presentan nuestros materiales.

Debido a los diferentes proyectos camineros que se ejecutan actualmente en nuestro medio y a la variedad de ligantes que se utilizan, surge la necesidad de tener una caracterización y un análisis de acuerdo a su respuesta mecánica del tipo de ligante asfáltico que muestre mejores resultados en base a la cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y durabilidad.

Los resultados que se obtengan servirán como un respaldo a las instituciones públicas, empresas constructoras, y otras que se dediquen específicamente a la utilización de los ligantes en proyectos camineros, cuando tengan que elegir el ligante asfáltico más adecuado.

El campo de aplicación de los resultados es muy amplio. En nuestro departamento y a nivel nacional se ejecutan varios proyectos camineros, como por ejemplo tratamientos superficiales, pavimentos flexibles entre otros, que por tener métodos ambiguos de selección de ligantes asfálticos, tienen muchas deficiencias una vez ejecutado dichos proyectos, con fisuras a corto plazo, desgaste del ligante entre otras fallas que aparecen una vez que se pone en funcionamiento.

Académicamente se ampliarán los conocimientos en ligantes asfálticos, los campos de aplicación del método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL), los ensayos de laboratorio de asfaltos que se deberán realizar a lo largo de la investigación y el procedimiento MARSHALL para la fabricación de briquetas que serán evaluadas.

1.3. PROBLEMA

La determinación de las especificaciones para poder utilizar un material asfáltico está relacionada con la calidad del material, sin considerar en ningún caso la afinidad del pétreo y el cemento asfáltico. Asimismo, la caracterización de ligantes se ha venido realizando mediante en a serie de ensayos físicos como penetración, punto de reblandecimiento, punto de fragilidad, ductilidad, etc., que tienen por objeto identificar el producto y comprobar que satisface las especificaciones fijadas. Sin embargo, esta caracterización es compleja e incompleta, por lo que hay que acudir a un gran número de ensayos que sólo evalúan parcialmente y de forma indirecta alguna de sus propiedades, y que en la mayoría de los casos no gozan de la sensibilidad necesaria para diferenciar a los distintos ligantes asfálticos de modo satisfactorio; propiedades tan importantes como la cohesión, la susceptibilidad térmica, adhesividad y envejecimiento no quedan suficientemente caracterizadas.

Ha sido precisamente la poca idoneidad de estos ensayos para la caracterización de ligantes asfálticos lo que ha llevado a desarrollar un nuevo procedimiento: el método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL), basado en la aplicación del ensayo cántabro de pérdida por desgaste, que de manera fiable y sencilla permite definir con amplitud y precisión las propiedades de los ligantes asfálticos, tanto de los obtenidos

directamente de la destilación del petróleo y de la hulla, como de los modificados mediante la incorporación de aditivos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Caracterizar y establecer las propiedades de los ligantes asfálticos utilizados en nuestro medio a través del método UCL utilizando un agregado pétreo de referencia.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Adquirir la mayor información posible sobre el método UCL, para que de esta manera, y tras un proceso de ensayos y de análisis de resultados, se pueda difundir e implementar tanto en el campo profesional como en el estudiantil de la carrera de Ingeniería Civil y de esta forma ampliar el nivel de conocimientos en ambos campos.
- Analizar el procedimiento de método UCL, ya que éste no es un método tradicional, no es considerado para determinar las especificaciones con las que debe cumplir los ligantes asfálticos, sino que muestra los resultados después de mezclar el ligante con el árido.
- Realizar la caracterización de los ligantes asfálticos y del agregado pétreo a utilizar, a través de los ensayos de laboratorio de asfaltos de acuerdo a las normas ASTM y AASHTO propuesta en el Manual Técnico de Ensayos de Suelos y Materiales Volumen 4 de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).
- Elaborar las briquetas con 1000 gr de árido y 45gr de asfalto medidas que son definidas por el método, que serán evaluadas, según el procedimiento de elaboración de briquetas Marshall.
- Evaluar las cualidades cohesivas que un asfalto proporciona a la mezcla elaborando briquetas para luego ser ensayadas en la Máquina de Los Ángeles

(ensayo de desgaste), sin carga abrasiva, evaluando la cohesión como una relación de la pérdida por desgaste sufrida en las briquetas.

- Estimar el impacto de la susceptibilidad térmica del asfalto, sometiéndolas luego a diferentes temperaturas en un mismo período de tiempo, para ser ensayadas en la máquina de los ángeles y cuantificar la incidencia de los diferentes grados de temperatura sobre los porcentajes de desgaste sufridas por la briqueeta.
- Sumergir en agua, briquetas elaboradas de cada tipo de asfalto a estudiar, a diferentes temperaturas y períodos de tiempo, para luego ensayarlas en la Máquina de Los Ángeles, y evaluar así la adherencia del asfalto con los agregados en la mezcla como una medida de la resistencia al desprendimiento bajo la acción del agua en las briquetas tras cuantificar las pérdidas por desgaste resultante del ensayo.
- Elaborar briquetas de cada tipo de asfalto a estudiar y someterlas, a diferentes períodos de tiempo, a rangos de temperatura propuestos por el método UCL y así medir la influencia, en la resistencia al envejecimiento del asfalto, través de los porcentajes de pérdidas arrojados después de someter estas briquetas a la Máquina de Los Ángeles.
- Elaborar curvas de estado de los diferentes ensayos realizados a las briquetas de las mezclas asfálticas a estudiar, y así cuantificar las tendencias de respuesta, de desempeño del asfalto en la mezcla, de cada una de los asfaltos evaluados.

1.5. ALCANCE

La siguiente investigación contiene una introducción dando una explicación general a los que son los asfaltos, donde se describe en breve que son, cómo se elaboran entre otra información que necesariamente que deberá ser estudiada antes de comenzar con la elaboración de la investigación. Un objetivo general que indica con claridad lo que se quiere hacer o lo que se quiere lograr, como también los objetivos específicos que contribuyen para lograr alcanzar el objetivo general. La metodología correspondiente

para lograr los resultados esperados y que estos a la vez sean satisfactorios y coherentes.

La segunda parte muestra a detalle, las propiedades físicas, mecánicas, y químicas de los ligantes asfálticos, donde las propiedades físicas, Método Universal de Caracterización de Ligantes que será objeto de investigación, donde se busca una caracterización de acuerdo a los resultados obtenidos a través del método. También se estudian las características de los ligantes, de donde vienen, cómo se las obtienen, cómo se las clasifican y cuál es su comportamiento una vez realizada la mezcla con el agregado.

La tercera parte estudiara los aspectos generales de la mezcla asfáltica, su definición, la funcionalidad que tienen en la construcción de pavimentos como capas de rodadura de carreteras, sus propiedades de éstas mezclas y su comportamiento, la clasificación de acuerdo a diferentes parámetros tomados en cuenta tanto en su elaboración como también puesta en obra, el tipo de mezclas asfálticas de acuerdo a la temperatura y funcionalidad, algunas consideraciones para la selección de una mezcla asfáltica de acuerdo al tipo de proyecto y por último los agregados a utilizar en la mezcla asfáltica.

La cuarta parte es netamente la investigación sobre la aplicabilidad del método UCL en clasificación de ligantes, la toma de muestras, ensayos de laboratorio, procedimientos a realizar en dichos ensayos, el proceso y resultados y por último el análisis de los resultados obtenidos. De todo este proceso de la investigación saldrán diferentes conclusiones y a través de éstas citar las recomendaciones correspondientes en la aplicación del método Universal de Caracterización de Ligantes UCL.

En resumen se hará un estudio a detalle, de todo lo que se refiere a asfaltos, mezclas asfálticas, como los agregados que se utilizan en la fabricación de la misma, la aplicación del Método Universal de Caracterización de Ligantes UCL, que se quiere hacer (objetivo general), cuales son los propósitos específicos que contribuyen a lograr lo que se está planteando como objetivo general, y un análisis de los resultados

obtenidos con la aplicación del Método Universal de Caracterización de Ligantes Asfálticos.

1.6. LIMITACIONES

Los Asfaltos a evaluar únicamente serán: los Asfaltos Convencionales IPIRANGA 85/100 utilizado por el Servicio Departamental de Caminos SEDECA, BETUNEL 85/100 utilizado por la Honorable Alcaldía Municipal de Cercado-Tarija y Asfalto Modificado con Polímero SBS 60/85 (Estireno-Butadieno-Estireno) BETUFLEX utilizado por la constructora CONSTRUMAT; debido a que, en lo que respecta a los convencionales son la de mayor empleo en el la construcción de pavimentos asfálticos en el departamento y en cuanto a los modificados por que son los que se adaptan a las condiciones climáticas propias de la zona.

Para la elaboración de las briquetas se escogerá la granulometría propuesta por el método UCL y un 4,5% de asfalto sobre los agregados, teniendo como única variable en las briquetas de mezcla asfáltica, el ligante asfáltico que es el componente a evaluar.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

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 (2.1), 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, tiene 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.

2.1.1 Definición del Asfalto

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.

2.1.2 Composición y Estructura de los Asfaltos

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 y la fase continua la constituye un fluido aceitoso formado por la fracción ligera, denominada maltenos.

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

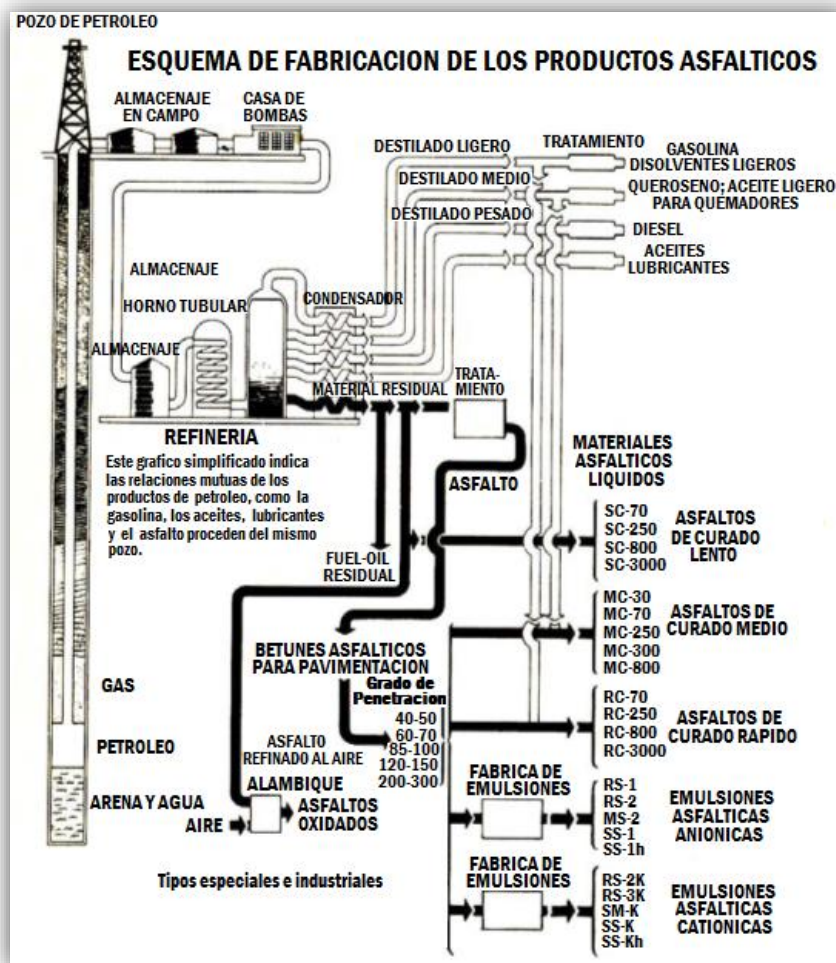
Tipo Sol (movimiento libre de las micelas): tienen una menor proporción de asfaltenos, que se encuentran agrupados en cadenas homogéneas perfectamente dispersas en el medio aceitoso formado por los maltenos y sus propiedades varían considerablemente con la temperatura. Experimentan fuertes deformaciones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

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 solicitaciones del tráfico, es decir, son los empleados en la construcción de carreteras.

2.1.3 Obtención del Asfalto

FIGURA 2. 1 PROCESO DE DESTILACIÓN DEL PETRÓLEO



Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca
(2002)

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Antes que el intercambio de crudo en el mercado fuera algo cotidiano, las refinerías rara vez cambiaban sus fuentes de abastecimiento de crudo. Esto llevó a que las fuentes de asfalto tuvieran propiedades consistentes. Al integrar el cambio del abastecimiento de crudo de las refinerías se crearon más variaciones en las propiedades del asfalto, tanto físicas como químicas. De estas variaciones, surgió la necesidad de poder evaluar el comportamiento del asfalto ante condiciones particulares y predecir su rendimiento por medio de sus propiedades reológicas. Aun así, algunas propiedades físicas y químicas siguen siendo constantes en todos los tipos de asfaltos.

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: adhesión, cohesión, susceptibilidad térmica y durabilidad.

2.2.1 Densidad

La densidad de los asfaltos que se utilizan en la construcción de pavimentos varía desde 0.9 - 1.4 g/cm³. 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 dar idea de las impurezas que contiene un producto y su medida 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 a 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.

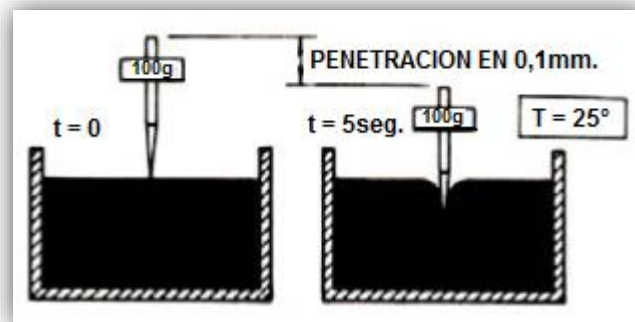
2.2.2 Índice de Penetración

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, 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 2. 2 ENSAYO DE PENETRACIÓN



Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca (2002)

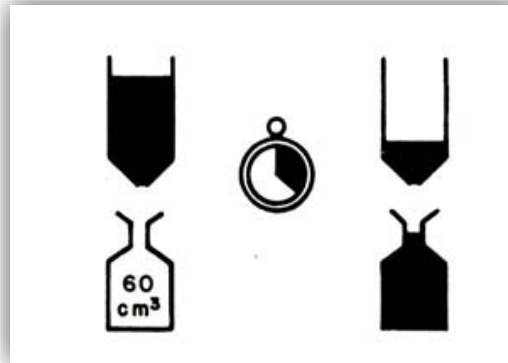
2.2.3 Viscosidad

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

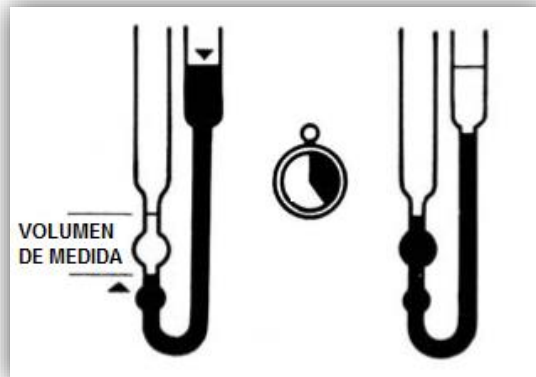
los de Saybolt (Furol o Universal). Se basan en la determinación del tiempo en que una cierta cantidad de producto asfáltico a una temperatura prefijada fluye por un orificio por la acción de la gravedad en unas condiciones normalizadas.

FIGURA 2. 3 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD RELATIVA



Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca (2002)

FIGURA 2. 4 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA



Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca (2002)

2.2.4 Volatilidad

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

2.2.5 Solubilidad

Por definición, un asfalto es totalmente soluble en sulfuro de carbono. Si al realizar el ensayo de un material quedará un residuo insoluble, el resultado del ensayo 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 Adhesión y Cohesión

2.2.6.1 Adhesión.- 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.

2.2.6.2 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.

2.2.7 Susceptibilidad Térmica

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 adquiera la viscosidad requerida para el uso que se le da.

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (mayor viscosidad) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menor viscosidad) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

FIGURA 2. 5 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO



*Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca
(2002)*

2.2.8 Durabilidad

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto. Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Estas son la Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO).

2.2.9 Endurecimiento y 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.

2.2.10 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.

2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las pruebas que se efectúan a los asfaltos, como en el caso de cualquier otro material, son un medio eficaz para conocer sus propiedades y tratar de predecir su

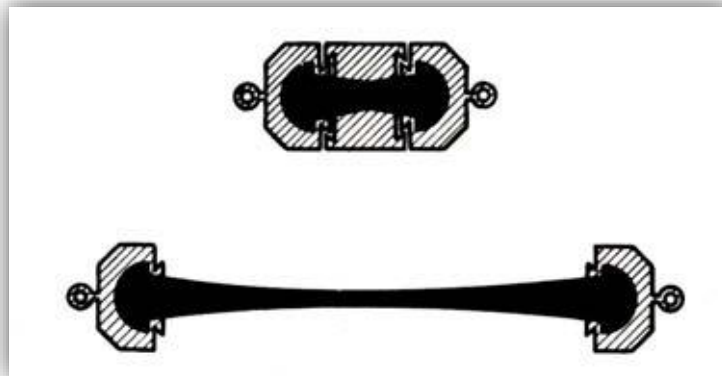
comportamiento cuando se utilizan en un determinado trabajo. Los resultados de dichas pruebas permiten verificar el cumplimiento de normas o especificaciones de calidad que aseguren el buen uso de los distintos materiales.

2.3.1 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 2. 6 ENSAYO DE DUCTILIDAD



*Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca
(2002)*

2.3.2 Fragilidad

Propiedad relacionada con la facilidad de alcanzar la rotura de un material bajo impacto o pequeñas deformaciones. Por debajo de determinadas temperaturas el asfalto puede presentar un comportamiento frágil.

2.3.3 Rigidez

Los asfaltos son materiales visco-elásticos cuyo comportamiento depende del tiempo de aplicación de la carga t y de la temperatura T . Así como un cuerpo elástico está caracterizado por un módulo de elasticidad, los materiales visco-elásticos se caracterizan por su módulo de rigidez. Aunque el comportamiento mecánico de los asfaltos está influido por el estado de esfuerzos y la relación entre esfuerzos y deformaciones es no lineal, su influencia es muy pequeña si se compara con el efecto producido por la temperatura o el tiempo de aplicación de carga. Por lo tanto, se puede suponer un comportamiento lineal y que su respuesta sólo depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de carga, y considerar a los asfaltos como un material visco-elástico lineal.

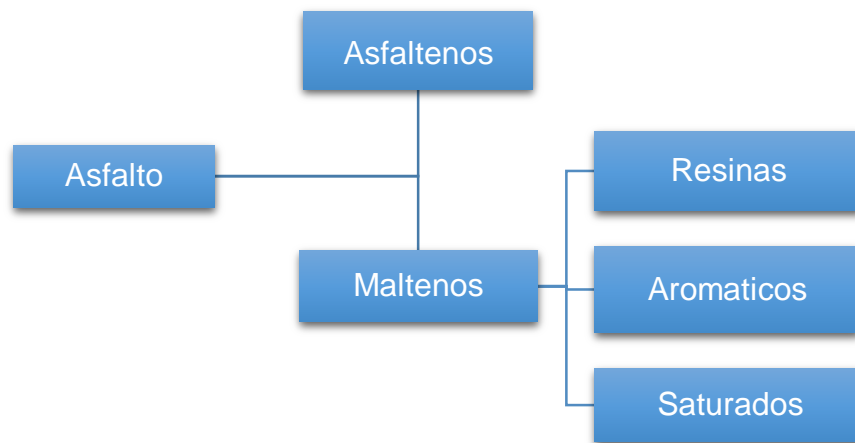
2.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO

Es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación. Al igual que el petróleo crudo, el asfalto, es una mezcla de numerosos hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno; casi en su totalidad solubles en sulfuro de carbono.

Un concepto más amplio sobre la constitución es que el asfalto consta de tres componentes mayoritarios. El primero se describe como una mezcla de asfáltenos que son moléculas complejas de alto peso molecular, insoluble en hidrocarburos parafínicos y soluble en compuestos aromáticos como el benceno. El segundo

componente descrito es una mezcla de resinas y el tercero aceite mineral. Estos tres constituyen un sistema coloidal. Los asfáltenos cargan con la responsabilidad de las características estructurales y de dureza de los asfaltos, las resinas le proporcionan sus propiedades aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables.

FIGURA 2. 7 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO



Fuente: “Ingeniería de pavimentos para carreteras” Alfonso Montejo Fonseca (2002)

2.4.1 Asfaltenos

Son compuestos químicos orgánicos y representan los compuestos más pesados y por tanto de mayor punto de ebullición. Una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfáltenos le dan al asfalto su color y dureza y se encuentran disueltos en los maltenos, es decir es la fase discontinua del asfalto.

2.4.2 Maltenos

Son líquidos viscosos formando la fase continua del asfalto. Su contenido se asocia a las propiedades mecánicas mostradas por el asfalto. Generalmente, existe mayor

proporción de máltenos que de asfáltenos en los asfaltos. El mayor contenido de máltenos y su naturaleza química son las que le dan la calidad a un asfalto. Estos se subdividen en:

2.4.3.1 Resinas

Las resinas son moléculas de bajo peso molecular, que tienen un mayor número de ramificaciones en sus cadenas, observándose con menos frecuencia la presencia de azufre y nitrógeno. Son sólidos o semisólidos de color negro, solubles en heptano, igual que los asfáltenos su composición es de hidrógeno y carbono, con contenidos pequeños de oxígeno.

2.4.3.2 Aromáticos

Son líquidos viscosos de color negruzco, están compuestos por ciclo alcanos de bajo peso molecular, en el asfalto representan la mayor proporción como medio de dispersión para los asfáltenos peptizados. Estos constituyen de un 40% - 65 % del total del asfalto.

2.4.3.3 Saturados

Son aceites viscosos de coloración amarillenta, comprenden una cadena lateral o ramificada de hidrocarburos asfálticos, junto con radicales cíclicos y algunos aromáticos. En los aceites existe una disminución gradual de compuestos aromáticos y un aumento en el carácter parafínico.

2.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ASFALTOS SEGÚN SU CLASIFICACIÓN

2.5.1 Clasificación por el Grado de Viscosidad

El sistema de clasificación por viscosidad fue introducido a principios de la década de 1960, mediante el cual es posible clasificar cementos asfálticos en estado virgen y en residuos asfálticos. Dicho sistema de clasificación fue concebido debido a las

limitantes que presenta el sistema de clasificación por penetración, una de las cuales está relacionada con la imposibilidad de evaluar la susceptibilidad térmica del asfalto o no poder evaluar el comportamiento del mismo a temperaturas normales de operación de la mezcla asfáltica. Los ensayos requeridos para la clasificación del asfalto, están contemplados en la norma ASTM D 3381, Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction Dentro de esta especificación se encuentran los asfaltos clasificados por: a) Viscosidad (AC) y b) Residuo asfáltico (AR)

TABLA 2. 1 REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD (CALIFICACIÓN BASADA EN ASFALTO ORIGINAL)

PRUEBA	GRADO DE VISCOSIDAD					
	AC- 2.5	AC- 5	AC - 10	AC - 20	AC - 30	AC - 40
Viscosidad, 60° poises	250-50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad 135° Cs-mínima	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25° C 100 g.,5 segundos – mínimo	220	140	80	60	50	40
Punto inflamador, cleveland. °C(°F)-mínimo	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubilidad en tricloroetileno, por cierto-mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:						
Perdida por calentamiento, porcentaje-maximo (opcional) ³		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60° C, poises – máximos	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm mínimo	100 ¹	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) ² con :						
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados					
Solvente de nafta -xileno, % xileno	Negativo para todos los grados					
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados					

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

TABLA 2. 2 REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60° C (CLASIFICACIÓN BASADA EN EL RESIDUO DE ENSAYO RTFO)

PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO DE ENSAYO DE LA NORMA AASHTO T 240 ¹	GRADO DE VISCOSIDAD				
	AR - 10	AR - 20	AR - 40	AR - 80	AR - 160
Viscosidad, 60° poises	1000±250	2000±500	4000±1000	8.000±2000	16000±4000
Viscosidad 135° Cs-mínima	140	200	275	400	550
Penetración, 25° C 100 g.,5 segundos - mínimo	65	40	25	20	20
Porcentaje de Pen original, 25° C - mínimo	-	40	45	50	52
Ductilidad 25° C, 5 cm por minuto, cm-mínimo	100 ²	100 ²	75	50	52
PRUEBAS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL					
Punto inflamador, cleveland, °C(°F)-mínimo	205(400)	219(425)	227(440)	232(450)	238(460)
Solubilidad de triclorotileno, por ciento mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

2.5.2 Asfaltos Cutback o Asfáltos Rebajados

Los asfaltos líquidos conocidos también como Cut-backs o asfaltos rebajados, se producen diluyendo cemento asfáltico en algún solvente de petróleo.

Si el solvente usado en la preparación del asfalto líquido es muy volátil, puede escapar rápidamente por evaporación y si su volatilidad es baja se evapora más lentamente. Con base en la rapidez con que se produce la evaporación del solvente, fenómeno que se conoce como curado del asfalto, los asfaltos rebajados se dividen en tres tipos a saber:

Asfaltos Cutback de curado rápido (RC)

Cuyo solvente es un líquido volátil, del tipo generalmente nafta o gasolina.

TABLA 2. 3 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS DE CURADO RÁPIDO (RC)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	DESIGNACION							
			RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
			Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Viscosidad cinemática A 60°C	mm ² /s	D-2170	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (Aparato de copa abierta)	°C	D-3143	---	---	27+	---	27+	---	27+	---
<u>Prueba de Destilación:</u> Destilado: a 190°C a 225°C a 260°C a 316°C	% del volumen total destilado a 360°C	D-402	10	---	---	---	---	---	---	---
Residuo de destilación a 360°C	% volumen por diferencia		50	---	35	---	15	---	---	---
			70	---	60	---	45	---	25	---
			85	---	80	---	75	---	70	---
			55	---	65	---	75	---	80	---
<u>Pruebas sobre el residuo de destilación:</u> Viscosidad a 60°C ^A Ductilidad a 25°C	Pa.s Cm	D-2170 D-113	60	240	60	240	60	240	60	240
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	100	---	100	---	100	---	100	---
Agua	%	D-95	99,0	---	99,0	---	99,0	---	99,0	---
			---	0,2	---	0,2	---	0,2	---	0,2

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

2.5.3 Asfaltos Cutback de curado Medio (MC)

Cuyo solvente es el kerosenne.

TABLA 2. 4 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS DE CURADO MEDIO (MC)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	DESIGNACION									
			MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		MC-3000	
			Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Viscosidad cinemática A 60°C	mm ² /s	D-2170	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (Aparato de copa abierta)	°C	D-3143	38	---	38	---	66	---	66	---	66	---
<u>Prueba de destilación:</u> Destilado a 225°C a 260°C a 316°C	% del volumen destilado a 360°C	D-402	---	25	---	20	---	10	---	---	---	---
			40	70	20	60	15	55	---	35	---	15
			75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
Residuo de la destilación a 360°C	% volumen por diferencia		50	---	55	---	67	---	75	---	80	---
<u>Pruebas sobre residuo de destilación:</u> Viscosidad a 60°C ^A Ductilidad a 25°C	Pa.s cm	D-2170 D-113	300	1200	300	1200	300	1200	300	1200	300	1200
Solubilidad en Tricloroetileno	%	D-2042	99,0	---	99,0	---	99,0	---	99,0	---	99,0	---
Agua	%	D-95	---	0,2	---	0,2	---	0,2	---	0,2	---	0,2

*Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente
del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).*

2.5.4 Asfaltos Cutback de curado Lento (SC)

Cuyo solvente es un aceite pesado de baja volatilidad, usualmente del tipo fuel oil.

TABLA 2. 5 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS DE CURADO LENTO (SC)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	DESIGNACIÓN							
			SC-70		SC-250		SC-800		SC-3000	
			Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Viscosidad cinemática a 60°C	mm ² /s	D-2170	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (Cleveland de copa abierta)	°C	D-92	66	---	79	---	93	---	107	---
<u>Prueba de Destilación:</u> Total destilado a 360°C	% volumen	D-402	10	30	4	20	2	12	---	5
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	99,0	---	99,0	---	99,0	---	99,0	---
Viscosidad cinemática sobre el residuo de la destilación a 60°C	mm ² /s	D-2170	400	7000	800	10000	2000	16000	4000	35000
<u>Residuo asfáltico:</u> Residuo de Penetración 100	%	D-243	50	---	60	---	70	---	80	---
Ductilidad de Penetración 100, 25°C	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---
Agua	%	D-95	---	0,5	---	0,5	---	0,5	---	0,5

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

2.5.5 Asfaltos por penetración

Se denomina así a los asfaltos que son clasificados de acuerdo a su consistencia, mediante el ensayo de penetración.

TABLA 2. 6 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS POR GRADO DE PENETRACIÓN

GRADO DE PENETRACIÓN										
	40 –50		60 –70		85 – 100		120 – 150		200 – 300	
	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max
Penetración, 25° C 100 g.,5 segundos	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto inflamador, cleveland, °C	450	-	450	-	450	-	425	-	350	-
Ductilidad 25° C, 5 cm por minuto	100	-	100	-	100	-	100	-	-	-
Solubilidad de triclorotileno, por ciento	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-
TFO 3.2 mm, 63° C, 5 horas										
Perdida por calentamiento, Por ciento	-	0.8	-	0.8	-	1.0	-	1.3	-	1.5
Penetración del residuo, Por ciento del original	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-
Ductilidad del residuo a 25° C. 5 cm por min., cm	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-
Prueba del mancha (cuando y como se especifica) (ver nota) :	Negativo para todos los grados									
Solvente normal del nafta										
Solvente de nafta – xileno. % xileno										
Solvente de heptano – xileno. % xileno	Negativo para todos los grados									

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

2.6 ASFALTOS MODIFICADOS

2.6.1 Generalidades

La modificación 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 convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros es:

- Aumentar la rigidez a altas temperaturas de servicio, mejorando la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.

- Reducir la rigidez a bajas temperaturas, previniendo la fisuración térmica.
- Aumentar la resistencia a la fatiga de las mezclas.
- Mejorar la adhesión con los agregados pétreos.
- Mejorar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados en la vida inicial de los tratamientos superficiales.
- Reducir el endurecimiento en servicio, brindando una vida superior a la mezcla, debido a la retención de sus ventajas iniciales.
- Disminuir la susceptibilidad térmica en el rango de temperaturas de servicio.
- Aumentar la viscosidad a bajas velocidades de corte, permitiendo mayores espesores de película en el agregado en mezclas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales.

Métodos de prueba para asfaltos modificados.

- Reparación Elástica por Torsión.
- Resilencia.
- Recuperación Elástica por Ductilímetro.
- Penetración.
- Punto de Reblandecimiento.
- Separación para Asfaltos Modificados.

2.6.2 Definición de Polímero

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formado por la unión de cientos o 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, etc.

2.6.3 Polímeros Utilizados con Asfaltos

En la Tabla (2.7) se pueden observar algunos polímeros utilizados para modificar asfaltos.

TABLA 2. 7 POLÍMEROS UTILIZADOS CON ASFALTOS

TIPO DE MODIFICADOR	EJEMPLO
ELASTOMEROS	NATURAL
	SBS
	SBR
	EPDM
	PBD
PLASTOMEROS	EVA
	EMA
	PE
	PP
	POLIESTIRENO

Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca (2002)

a) **Elastómeros:** al estirarlos estos vuelven a su posición original, es decir, son elásticos. Dentro de estos se tiene:

- **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 debido a su durabilidad y elasticidad.

- **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.
- **PBD:** (polibutadieno) elastómero sintético o caucho, adecuado para las aplicaciones que requieren exposición a bajas temperaturas.

b) **Plastómeros:** al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudo-plásticas con poca elasticidad. Dentro de estos tenemos:

- **EVA:** (etileno-acetato de vinilo), confiere una gran resistencia al calor y al aceite.
- **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) parecido al caucho, buen elastómero, brinda resistencia.
- **PS:** (Poliestireno) posee elasticidad, buena resistencia mecánica, térmica y baja densidad.

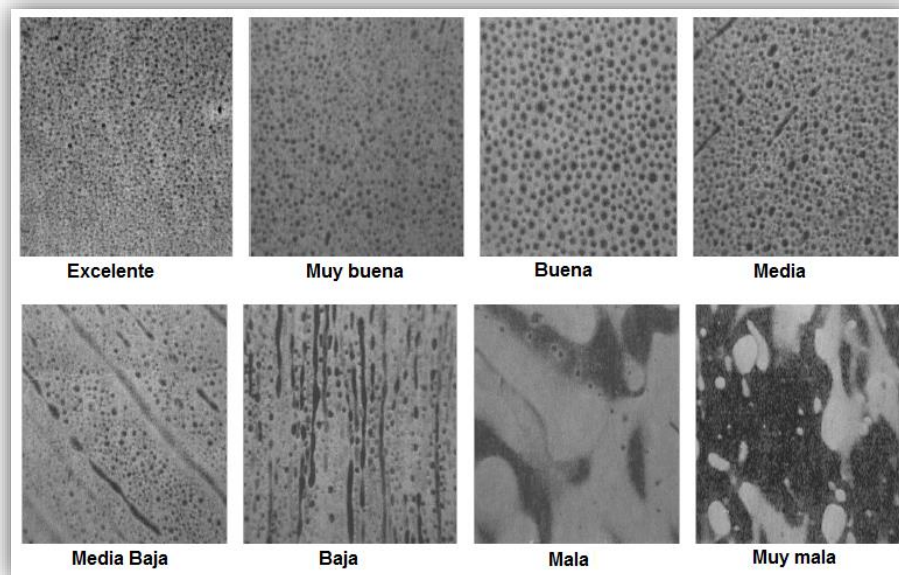
2.6.4 Compatibilidad con los Polímeros

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. Estos sistemas convencionales de preparación de

asfaltos 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 mostradas en la Figura 2.8 se muestran la compatibilidad de polímeros en diferentes asfaltos (lo blanco es polímero y lo negro es asfalto).

FIGURA 2. 8 COMPATIBILIDAD CON POLÍMEROS



Fuente: Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente”- Instituto Salvadoreño de Asfalto

Compatibilidades entre el Asfalto y los Polímeros.

- Los Asfaltos más ricos en fracciones Aromáticas y Resinas serán los más compatibles ya que estas fracciones son los que permiten disolverse al polímero.

- Los Asfaltos menos compatibles son aquellos que en su composición son más ricos en Asfaltos y Saturados. Estas fracciones son de alto peso molecular.
- Los Asfaltos se pueden ajustar agregando Aceites del Tipo Aromático, para enriquecerlo y hacerlo compatible con el polímero.

2.7 CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS

Es prácticamente imposible conocer las propiedades y comportamiento de un ligante bituminoso basándose en la valoración de los distintos componentes elementales que lo forman, porque su número es muy grande y no es posible en la práctica aislar cada uno de ellos; pero además, aunque pudiesen aislarse los diferentes componentes elementales constitutivos del ligante bituminoso, no conoceríamos sus propiedades con suficiente exactitud, ya que en su comportamiento no es la composición química la que juega el papel principal, sino la constitución físico-química del complejo coloidal que es el ligante bituminoso. Es por ello que la caracterización de los ligantes bituminosos se hace por medio de ensayos físico-mecánicos, aunque dada su complejidad, es necesario recurrir a una gran variedad de ensayos que aisladamente van definiendo cada una de sus propiedades.

La mayor parte de estos ensayos se utilizan fundamentalmente para identificar el producto y comprobar que satisface las especificaciones fijadas. Otros, intentan dar una idea del comportamiento del asfalto bajo la acción de las cargas producidas por el tráfico y los agentes atmosféricos. No obstante, solo determinan indirectamente la propiedad que nos interesa, no caracterizando suficientemente su comportamiento. Para abordar el estudio de los diferentes ensayos de caracterización, y debido al gran número existente, se han agrupado en función de la propiedad que pretenden valorar.

Estas propiedades pueden clasificarse en:

- Propiedades másicas o propiedades relativas al estado del ligante.

- Propiedades mecánicas, relativas a su comportamiento frente tensiones o deformaciones. Adhesividad, relativa a la adhesión al árido en presencia de agua.
- Durabilidad o resistencia al envejecimiento.
- Propiedades químicas, relativas a su composición y estructura coloidal.

La Tabla (2.8) muestra los ensayos de caracterización generalmente utilizados en la valoración de cada una de estas propiedades. De los ensayos aplicados a los ligantes bituminosos se tratarán únicamente los relativos a ligantes asfálticos, omitiendo todos aquellos que son exclusivos de los ligantes fluidificados y las emulsiones asfálticas que, como es sabido, se obtienen a partir de un ligante asfáltico, por disolución de éste en un disolvente volátil o por emulsificación en agua.

TABLA 2. 8 PROPIEDADES DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES
ASFALTICOS

Propiedades		Ensayos de caracterización
Másicas	Densidad	Picnómetro
	Viscosidad	Viscosímetros
	Consistencia	Penetración
		Punto de reblandecimiento
	Susceptibilidad térmica	Índice de penetración
		Viscosidad
Método UCL		
Mecánicas	Ductilidad	Ductilometro
	Fragilidad	Punto fraass
	Tenacidad y resistencia	Recuperación elástica
		Tracción
	Rigidez	Módulo de rigidez
	Cohesión	Péndulo vialit

		Método UCL
Adhesividad	Adhesividad árido - ligante	Desenvuelta
		Adhesividad mecánica
		Método UCL
Durabilidad	Resistencia al envejecimiento (durabilidad)	Calentamiento
		Oxidación
		Rayos ultra violeta y/o infrarrojos
		Método UCL
Químicas	Composición	Solubilidad
		Destilación
		Exudación
		Combustión
		Calcinación
		Fraccionamiento
	Análisis químico	
	Estructura	Determinación de constantes físicas
		Espectroscopia ultravioleta e infrarroja
		Microscopia electrónica
Magneto-química		

Fuente: Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente”- Instituto Salvadoreño de Asfalto

2.8 MÉTODOS CONVENCIONALES DE CARACTERIZACIÓN DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

Son varios los ensayos para caracterizar los asfaltos con el objetivo de encontrar sus características y propiedades, pero como el fin de esta investigación es caracterizar el

ligante por el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) se hará una caracterización general con los métodos más importantes y recomendados por las instituciones que utilizan el asfalto que las mismas se basan en las normas que están.

2.9 MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES UCL

2.9.1 Definición del Método UCL

El Método Universal de Caracterización de Ligantes (Método UCL), desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña por los Doctores Pérez Jiménez y Miro Recasens, fue desarrollado para llevar a cabo la caracterización de los cementos asfálticos desde el punto de vista de su utilización en carreteras donde actúa en conjunto con el agregado. Esta evaluación está basada en la valorización de la cohesión, la susceptibilidad térmica, la adherencia agregado pétreo–cemento asfáltico y la durabilidad.

El método de ensayo que sirve de fundamento a esta prueba es la Norma Boliviana “A0615 MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE”, Los resultados que brinda este método revela un panorama general acerca del comportamiento del concreto asfáltico (ligante y agregado) en cuanto a la trabazón existente (cohesión), la resistencia a la disgregación ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico así como el desprendimiento bajo los efectos del agua (adhesión), los cambios que se manifiestan ante variaciones de temperatura (susceptibilidad térmica) y ante efectos de envejecimiento (durabilidad).

2.9.2 Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste

2.9.2.1 Antecedentes

En el año 1979 se iniciaron en el Laboratorio de Caminos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Santander,

los estudios encaminados a la caracterización de las mezclas bituminosas de granulometría abierta para su empleo en capas de rodadura.

La caracterización de estas mezclas en laboratorio presentó problemas importantes, siendo el principal de ellos la falta de procedimientos y métodos de ensayo que permitiesen estudiar su comportamiento mecánico. Esta falta de ensayos se debía a la diferencia de propiedades que presentan estas mezclas respecto a los materiales convencionales empleados en la construcción de carreteras. Normalmente, la propiedad más perseguida en estos materiales es su estabilidad y los ensayos han sido desarrollados para evaluar esta propiedad. Igual ocurre con la mayoría de los métodos de dosificación y proyecto de mezclas, basados en la obtención de la estabilidad máxima.

2.9.2.2 Fundamento y desarrollo del ensayo cántabro de pérdida por desgaste para caracterización de mezclas de granulometría abierta

Fue precisamente la escasa idoneidad que ofrecen los ensayos mecánicos tradicionales para evaluar la cohesión y resistencia a la disgregación de las mezclas porosas lo que motivó el desarrollo del ensayo cántabro de pérdida por desgaste.

El proyecto de estas mezclas se plantea como un compromiso claro entre su permeabilidad y su resistencia a la disgregación. Una disminución de los finos y del porcentaje de ligante lleva consigo un aumento de la permeabilidad, pero también una disminución de su cohesión y resistencia a la disgregación.

El efecto que la variación del porcentaje de finos y de ligante tiene sobre la permeabilidad de la mezcla es fácil de evaluar empleando un permeámetro de carga variable, que permite estimar el coeficiente de permeabilidad de la mezcla después de que ésta haya sido saturada en vacío. Pérez Jiménez ensayó 54 tipos de mezclas, que se diferenciaban en el tamaño del árido empleado: 10, 12 y 20 mm, el porcentaje de árido fino: 10 y 15%, el porcentaje de filler: 2,4 y 6%, y el porcentaje de ligante: 2,5;

4,5 y 5,5% de Asfalto de penetración B-60/70, obteniendo una relación entre porosidad y permeabilidad de la mezcla, dada por la siguiente expresión:

$$\log K = 9,296 \log H - 13,373$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad de la mezcla (cm/s)

H = Porcentaje de huecos en mezcla

Mayor problema tenía el detectar la influencia de estas dos variables –porcentaje de finos y de ligante- sobre la resistencia a la disgregación de la mezcla. Para ello, Pérez Jiménez procedió a estudiar la posibilidad que ofrecían los ensayos existentes para valorar esta última propiedad de la mezcla.

En primer lugar, se pensó en aquellos ensayos empleados para valorar la cohesión de mezclas densas y semi-densas: cohesiómetro Hveem y ensayo de tracción indirecta, sin descartar la aplicación del ensayo Marshall, por su sencillez y amplia difusión. Se desechó en principio el ensayo triaxial por el laborioso y complicado proceso de fabricación de las probetas de ensayo.

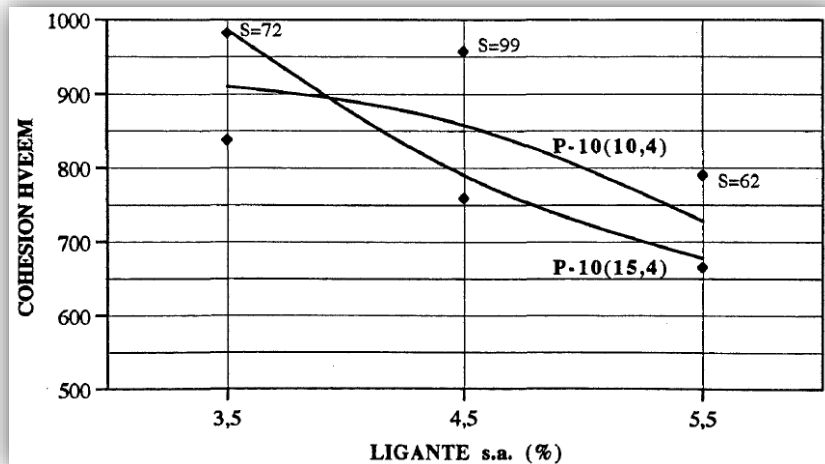
La cohesión es un factor de gran interés en el estudio de las mezclas porosas, ya que de ella va a depender en gran medida su resistencia a los esfuerzos de abrasión y succión del tráfico. Normalmente, el fallo que presentan estas mezclas es por disgregación, no teniendo especial importancia otros fallos de la capa de rodadura, como roderas o fisuración por fatiga.

COHESIOMETRO HVEEM:

En el estudio de la aplicación del ensayo Hveem a la valoración de la cohesión de las mezclas abiertas, Pérez Jiménez modificó la temperatura de ensayo, respecto al procedimiento empleado con las mezclas densas. Este se realizó a 25 °C en vez de 60 °C, dada la mayor flexibilidad de las mezclas ensayadas.

A pesar de esta modificación los resultados obtenidos no fueron satisfactorios. Estos resultados mostraron en primer lugar, figura (2.9), una gran dispersión, que unido a la poca sensibilidad del ensayo al contenido de ligante, hacía que en muchos casos se obtuvieran los mismos valores con probetas fabricadas con un 3,5% de ligante y otras fabricadas con el 4,5%. Lo mismo ocurría en el caso de emplear porcentajes de ligante de 4,5 y 5,5%. Esto exigiría emplear un gran número de probetas, si deseásemos utilizar este ensayo en control de calidad.

FIGURA 2. 9 VARIACIÓN DE LA COHESIÓN HVEEM EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE LIGANTE. 25°C



Fuente: Pérez Jiménez, 1980

En segundo lugar, los resultados mostraron una pérdida de la cohesión Hveem al aumentar el porcentaje de ligante. Parecía como si el ligante actuase de lubricante y fuese más fácil separar los áridos que habían quedado encajados y trabados en la compactación de la mezcla.

Por otra parte, se obtenía menor cohesión Hveem con mezclas fabricadas con mayor porcentaje de finos, resultados que están totalmente en desacuerdo con la experiencia

existente sobre el comportamiento de estas mezclas. Su cohesión y resistencia a la disgregación aumentan con el contenido de ligante y de árido fino.

Este contrasentido es debido a la falta de idoneidad de este ensayo cuando se usa en la caracterización de este tipo de mezcla. Es un ensayo pensado para mezclas más frágiles, que resulta inadecuado cuando se emplea con mezclas deformables que no llegan a romperse ni a fisurarse durante el ensayo. En el ensayo, cuando se aplica a mezclas abiertas, se determina el trabajo realizado hasta conseguir una determinada deformación de la probeta, pero no el necesario para producir su rotura.

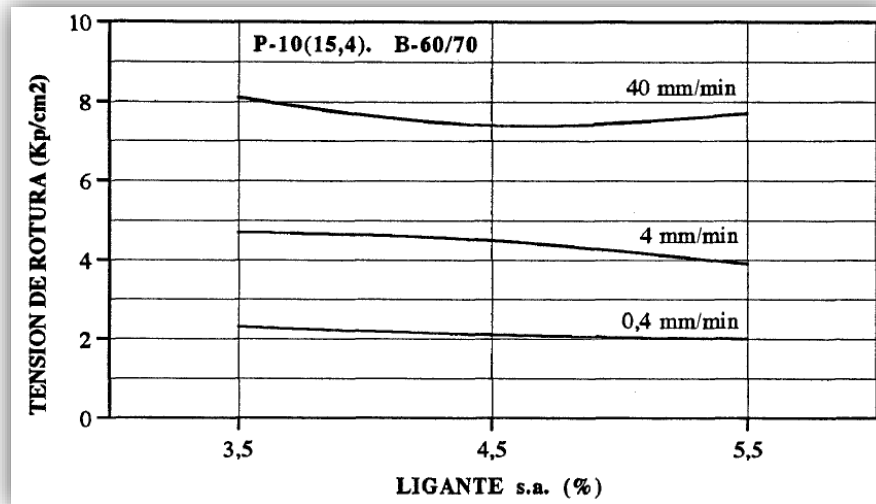
ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

Para comprobar la validez de este ensayo en la caracterización del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas abiertas, Pérez Jiménez empleó una granulometría tipo, P-10 (15,4) de tamaño máximo del árido: 10 mm, 15% de árido fino y 4% de filler-, considerando distintas temperaturas: 15 y 30 °C, y distintas velocidades en la realización del ensayo: 0,4; 4 y 40 mm/min.

Para esta granulometría y para cada una de las temperaturas y velocidades señaladas se estudió en el laboratorio la influencia del porcentaje de ligante sobre la resistencia y deformación de rotura de la mezcla ensayada. El ligante empleado fue un Asfalto de penetración B-60/70 con los siguientes porcentajes: 3,5; 4,5 y 5,5% sobre árido.

Los resultados de estos ensayos mostraron como la resistencia de rotura a tracción permanece prácticamente constante e insensible a la variación del contenido de ligante, figura (2.10). Esto, junto con las fuertes dispersiones obtenidas en la medida de la deformación transversal, que aumentan con la velocidad y el porcentaje de ligante, aconsejó desestimar este ensayo en la caracterización de las mezclas porosas.

FIGURA 2. 10 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA. VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ROTURA CON LA VELOCIDAD DEL ENSAYO Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. 15 °C



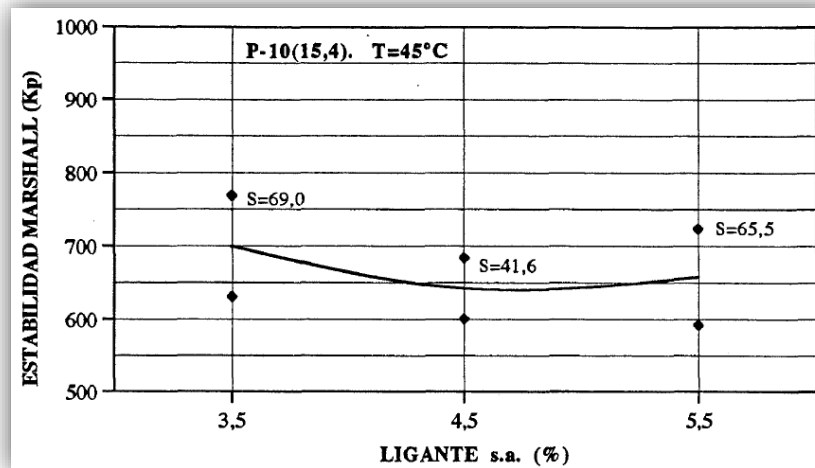
Fuente: Pérez Jiménez, 1980

ENSAYO MARSHALL

Para analizar la validez de aplicación del ensayo Marshall, Pérez Jiménez estudió, con la granulometría tipo P-10 (15,4), la susceptibilidad que presentaba el ensayo a las variaciones de ligante en la determinación de la estabilidad y deformación Marshall.

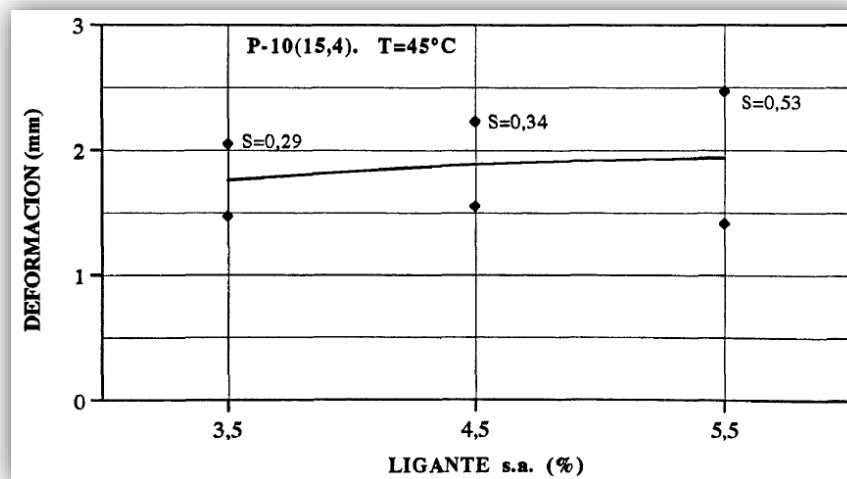
La temperatura de ensayo fue de 45 °C, ya que en algunos casos -mezclas con pocos finos-, se producía el desmoronamiento de las probetas cuando se ensayaban a la temperatura establecida en la norma A0608 “Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall” (AASHTO T 245-97), de 60 °C.

FIGURA 2. 11 ESTABILIDAD MARSHALL



Fuente: Pérez Jiménez, 1980

FIGURA 2. 12 DEFORMACIÓN MARSHALL



Fuente: Pérez Jiménez, 1980

Los resultados de estos ensayos, figura (2.11 y 2.12), ponen de manifiesto la poca susceptibilidad de este ensayo al porcentaje de asfalto, así como la notable dispersión

de los resultados. Los coeficientes de variación para la estabilidad y deformación Marshall oscilan de 0,07 a 0,1 para la primera, y de 0,15 a 0,27 para la segunda. De acuerdo con estos resultados, no se puede establecer diferencias significativas entre los valores obtenidos para la estabilidad Marshall para los distintos porcentajes de ligante. Lo mismo ocurre cuando se comparan los valores obtenidos para la deformación Marshall.

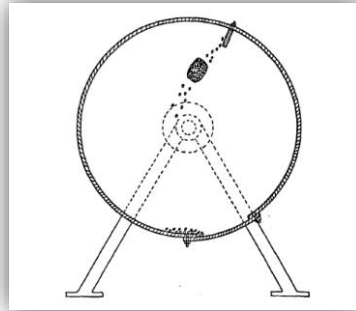
2.9.2.3 Valoración del ensayo cántabro de pérdida por desgaste

La experiencia existente sobre el comportamiento de estas mezclas indica, como ya se ha señalado anteriormente, que sus fallos más frecuentes son las peladuras y pérdidas de áridos, debidos normalmente a una falta de cohesión. La estabilidad de la mezcla suele ser suficiente para soportar sin deformarse las cargas verticales del tráfico, al menos con los espesores de capa utilizados (2-4 cm). Pero en puntos donde por defectos de dosificación o ejecución la mezcla no tiene una cohesión suficiente, o no existe una trabazón adecuada del árido grueso, se produce la pérdida de éste por la acción de los esfuerzos tangenciales y de succión del tráfico.

Esto hizo pensar que la falta de cohesión podía ponerse de manifiesto mediante algún ensayo que sometiera a la probeta a un mecanismo de abrasión que produjera la pérdida progresiva de los áridos mal adheridos. Por ello, se consideró la posibilidad de someter a probetas fabricadas en el compactador Marshall a un ensayo similar al utilizado con los áridos para determinar su pérdida por desgaste, ensayo Los Ángeles.

El ensayo consiste en fabricar con la mezcla que se quiere estudiar una probeta tipo Marshall e introducirla en la máquina de ensayo de Los Ángeles (sin bolas) a una temperatura dada, figura (2.13). Después de un número determinado de vueltas se saca la probeta, que durante el ensayo ha ido perdiendo por desgaste parte de los áridos situados en la superficie, y se pesa. Como resultado del ensayo se obtiene el valor de la pérdida por desgaste expresada en tanto por ciento del peso inicial.

FIGURA 2. 13 DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA POR DESGASTE: ENSAYO CÁNTABRO



Fuente: Pérez Jiménez, 1980

La máquina empleada en el ensayo de desgaste cántabro es la misma que se utiliza en el ensayo de desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Ángeles, pero sin carga abrasiva.

Para determinar la pérdida de desgaste de cada una de las probetas ensayadas se sigue el siguiente procedimiento:

- Se pesa en seco la probeta, con una aproximación de 0,1 gramos (P_i).
- Antes de ensayarla, la probeta se mantiene a la temperatura de ensayo un mínimo de 12 horas.
- Se introduce la probeta en la máquina de Los Angeles sin ninguna clase de carga abrasiva, y se la somete a 300 revoluciones.
- Se saca la probeta, que se habrá ido reduciendo por el desgaste, y se pesa con una aproximación de 0,1 gramos (P_f)

La pérdida de desgaste se expresa en tanto por ciento referido al peso inicial de la probeta:

$$P_c = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

Pc: Pérdidas al Cántabro.

Pi: Peso inicial en gramos.

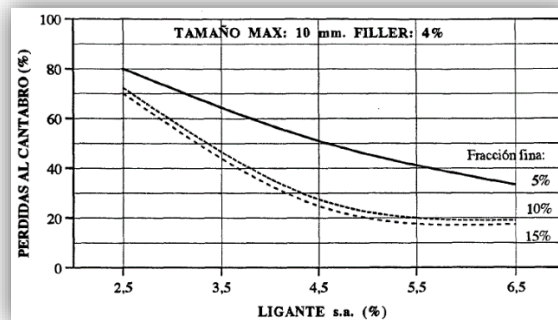
Pf: Peso final en gramos.

2.9.2.4 Sensibilidad del ensayo

Los resultados obtenidos al aplicar este método indican que el ensayo es capaz de detectar pequeñas variaciones en la composición de la mezcla, cosa que, por ejemplo, no sucedía con los métodos tradicionales para mezclas cerradas. Esta sensibilidad es especialmente notable a la variación del contenido de ligante de la mezcla

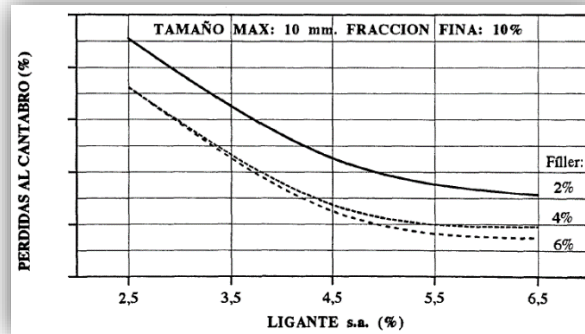
Para una mezcla dada se observa una disminución de la pérdida por desgaste a medida que aumenta su contenido de asfalto, pero esta disminución, que es rápida cuando los contenidos de asfalto son bajos, llega a hacerse moderada cuando el porcentaje de ligante logra dar suficiente trabazón y cohesión a la mezcla. Es decir, se observa un punto anguloso en las curvas que relacionan la pérdida por desgaste con el contenido de asfalto, que puede corresponder a un contenido de ligante suficiente para evitar la disgregación de la mezcla, figuras (2.14) y (2.15).

FIGURA 2. 14 INFLUENCIA DE LA FRACCIÓN FINA Y DEL PORCENTAJE DE LIGANTE EN LA PÉRDIDA POR DESGASTE



Fuente: Pérez Jiménez, 1980

FIGURA 2. 15 INFLUENCIA DE LOS PORCENTAJES DE FILLER Y DE LIGANTE EN LA PÉRDIDA POR DESGASTE



Fuente: Pérez Jiménez, 1980

Este ensayo detecta también claramente el efecto que los finos y el filler tienen sobre la trabazón de la mezcla, ya que en todos los casos se produce una disminución de la pérdida cuando se aumentan los porcentajes de éstos.

Dada la posibilidad del ensayo cántabro en medir una propiedad tan importante del ligante como es la cohesión que éste proporciona a la mezcla, se pensó en utilizar este procedimiento para valorar otras propiedades -susceptibilidad térmica, adhesividad y durabilidad-, pero antes se comprobó experimentalmente la precisión del proceso de medida en términos de repetibilidad y reproducibilidad.

2.9.3 Descripción General del Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL)

El punto de partida para la evaluación de los ligantes, se encuentra en la determinación del grado de cohesión que proporciona al conjunto, y cómo esta propiedad varía, someténdola a diferentes procesos de condicionamiento (variación de la temperatura, acción del agua y envejecimiento).

El poder cohesivo de un asfalto, es decir, su capacidad aglomerante, constituye uno de los parámetros mediante el cual la mezcla puede resistir el efecto del tráfico. Esta propiedad la determina el mástico: mezcla del ligante con la llenante mineral. En el caso del método UCL, al establecerse que no se disponga de esta llenante la responsabilidad es exclusiva del ligante, cuestión que finalmente se evalúa por el ensayo Cántabro

Durante el ensayo se va desprendiendo por impacto y abrasión los áridos más superficiales de la probeta, determinándose tras un número de revoluciones, 100, 200, y 300, la pérdida de peso de la probeta referida en tanto por ciento al peso inicial:

El ensayo Cántabro da una idea clara de la capacidad del ligante para mantener unidos los áridos de la mezcla, produciéndose bajas pérdidas cuando estas uniones son dúctiles y tenaces situación que ocurre en temperaturas medias, y altas pérdidas cuando el asfalto se torna frágil por la baja temperatura o cuando se reblandece demasiado en las altas.

Otra importante característica del método es la de implementar una tecnología sencilla, de fácil ejecución y el ofrecimiento de un novedoso procedimiento de selección de ligantes, que se basa en las siguientes premisas:

- Diferenciar y valorar el comportamiento de ligantes de similares características convencionales.
- Poner de manifiesto las diferencias de comportamiento de diversos asfaltos modificados, comparándolos con los asfaltos convencionales.

2.9.4 Aplicación del Método Universal de Caracterización de Ligantes

La caracterización del cemento asfáltico se ha realizado hasta el presente a partir de ensayos físicos y químicos, utilizándose para tal fin una serie de ensayos de base empírica y científica con los que se obtiene una pauta de las propiedades del cemento asfáltico, pero que solo establecen de manera indirecta el comportamiento en servicio

de éste como material componente de una mezcla asfáltica. Vale la pena aclarar que en nuestro medio solo se llevan a cabo los ensayos físicos. Los ensayos comúnmente utilizados para determinar las características de los cementos convencionales (sin modificar), son los de punto de ablandamiento, penetración, punto de inflamación, viscosidad, envejecimiento en película delgada y contenido de asfaltenos, maltenos, resinas y aromáticos. Los resultados y análisis de estos ensayos han sido el instrumento de selección de los asfaltos en función de los requerimientos de la mezcla en servicio.

Al realizar los ensayos mencionados anteriormente para la caracterización de los cementos asfálticos, ya sean convencionales o modificados, se puede incurrir en errores de apreciación dado que estos tienden a producir valores similares en los parámetros de referencia, no diferenciando el grado de comportamiento que pueden tener en las carreteras.

Debido a esto ha sido necesario adicionar otros ensayos para poner de manifiesto las propiedades elastoméricas que los polímeros le confieren a los cementos asfálticos modificados, como por ejemplo la recuperación elástica.

El método UCL evalúa 4 propiedades de un cemento asfáltico; cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y durabilidad como parte de una mezcla asfáltica. Verificando si el cemento asfáltico posee buenas propiedades dentro de la mezcla, ya que se evalúa el cemento asfáltico en conjunto con el agregado.

La importancia primordial del método Universal de Caracterización de Ligantes, radica en que debería servir como complemento a los métodos de diseño y caracterización, es decir, por ejemplo, al iniciar un proyecto de carreteras, aparte de realizar un competente diseño de la carpeta, se debe, antes de realizar el diseño, evaluar los asfaltos que se tiene a disposición para el proyecto mediante el método UCL, garantizando que el asfalto que se elija para el diseño de la carpeta asfáltica sea verdaderamente el que mejores propiedades aporte a la mezcla según los requerimiento de ese proyecto en particular. En la Tabla (5.3.1) se resumen las funciones y los beneficios del método UCL y el método de diseño Marshall.

TABLA 2. 9 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS UCL Y MARSHALL

Comparación Método UCL y Método Marshall		
Ítems	Marshall	UCL
Objetivo	Diseño de mezclas asfálticas	Caracterización de diferentes tipo de asfaltos
Objeto de estudio	Mezcla asfáltica	Asfalto como componente de una mezcla asfáltica
Propósito	Obtención del porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de la mezcla asfáltica	Evaluar las propiedades de distintos asfaltos que mejores características mecánicas aporte a la mezcla.

Fuente: Elaboración Propia

La tabla anterior manifiesta que los métodos no compiten por ver cuál es el mejor, son más bien o deberían ser, métodos complementarios que garantizan obtener un adecuado diseño y la mejor selección del asfalto adecuado para dicho diseño en función de las características que aporte a la mezcla.

2.9.5 Descripción de las Propiedades Evaluadas

Los parámetros que considera el método son los siguientes:

2.9.5.1 Cohesión

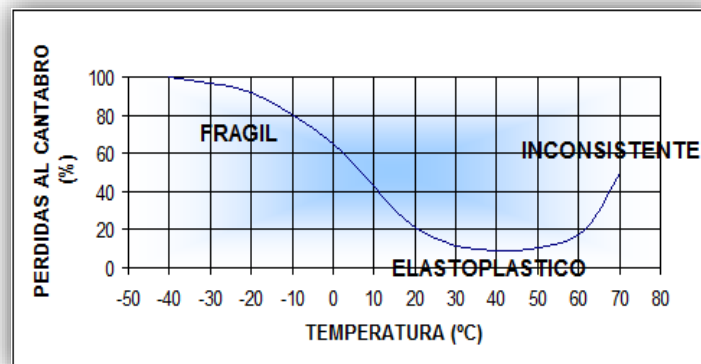
Es decir, su poder aglomerante. Es la propiedad que permite mantener unidas todas las partículas del material pétreo dentro de la mezcla y resistir las sollicitaciones del tránsito, sin que se produzcan grandes desplazamientos relativos entre ellas.

El ensayo Cántabro de pérdida por desgaste fue desarrollado precisamente, para evaluar la cohesión de las mezclas abiertas, por medio de la determinación de las pérdidas por desgaste siendo claro que a mayor cohesión, menores serán las pérdidas.

2.9.5.2 Susceptibilidad térmica

El comportamiento mecánico de los ligantes bituminosos varía con la temperatura, el tiempo y la magnitud de la carga aplicada, esta variación del comportamiento del ligante con la temperatura puede ser evaluada y cuantificada mediante el empleo del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste. La determinación, en condiciones especiales, de las pérdidas por desgaste a distintas temperaturas, pone de manifiesto el comportamiento frágil del ligante, alta pérdidas al cántabro, su comportamiento elastoplástico, pérdidas bajas al cántabro, y su inconsistencia, fuerte incremento de las pérdidas como se ilustra en la figura (2.16).

FIGURA 2. 16 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS LIGANTES ASFALTICOS



Fuente: Félix Pérez Jiménez y Rodrigo Miró Recasens

2.9.5.3 Adhesividad árido ligante

La resistencia al desprendimiento de la película bituminosa por acción del agua depende no sólo del ligante sino también de las propiedades fisicoquímicas del árido:

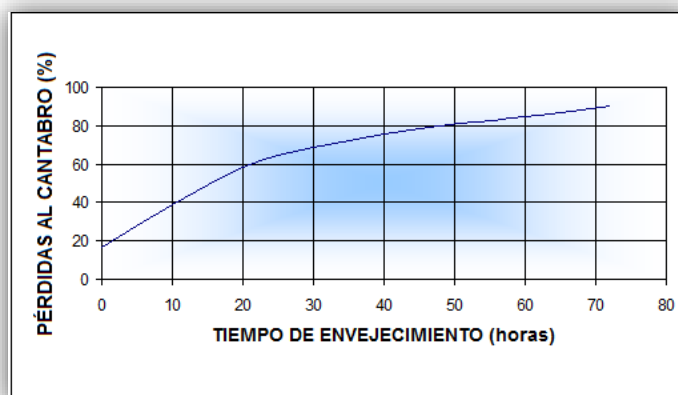
mineralogía, estado superficial de carga, porosidad, textura, etc. No obstante el ligante bituminoso debe ser capaz de envolver a los áridos, dando cohesión a la mezcla y resistir la acción desenvuelta del agua.

Mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste se puede valorar la adhesividad árido-ligante, determinando las pérdidas de la mezcla cuando ésta se ensaya en seco o tras permanecer cierto tiempo sumergida en agua. El incremento de las pérdidas, está directamente relacionado con la mejor o peor adhesividad del ligante al árido.

2.9.5.4 Envejecimiento

El envejecimiento es un fenómeno complejo que tiene su fase crítica durante la fabricación y puesta en obra de las mezclas, siendo sensiblemente más baja la velocidad con que este proceso se presenta luego de que ellas se encuentran en servicio. La capacidad de soportar este fenómeno es una propiedad de los ligantes relacionada muy directamente con su durabilidad. Cuanto más rápida sea este envejecimiento, mayor será la rapidez con la que el ligante se volverá frágil, disminuyendo su resistencia a la acción del tráfico.

FIGURA 2. 17 CURVA DE ENVEJECIMIENTO



Fuente. Félix Pérez Jiménez y Rodrigo Miró Recasens

2.9.6 Mezcla Patrón del Método UCL

La mezcla patrón se fabrica a partir de unos áridos sanos y limpios, con un desgaste inferior a 25% en la máquina de los ángeles. Se han utilizado dos granulometrías abiertas de diferente tamaño máximo como se indica en la Tabla 2.10

Recomendándose la A por ser la de menores dispersiones en el ensayo Cántabro, y a su vez proporciona un mayor porcentaje de vacíos en mezcla.

La probeta se fabrica siguiendo el procedimiento Marshall, pero empleando en la compactación 50 golpes por cara. El peso de los áridos para la fabricación de la probeta suele ser de 1000 gramos. El porcentaje de asfalto es de 4.5% sobre áridos.

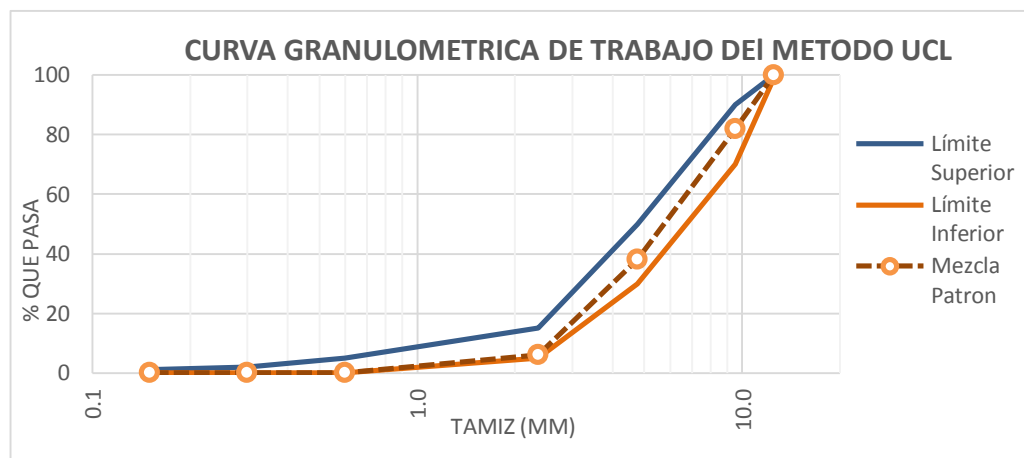
Las condiciones de ensayo de la probeta varían según la variable estudiada: susceptibilidad térmica, adhesividad o envejecimiento. En el caso de evaluar la susceptibilidad térmica las probetas se mantienen el tiempo necesario en el congelador, frigorífico o estufa para que alcancen la temperatura de ensayo, y se realiza éste con la máxima rapidez en la máquina de los Ángeles, que debe encontrarse ubicada en una habitación a 25°C de temperatura.

TABLA 2. 10 GRANULOMETRÍAS ABIERTAS EMPLEADAS POR EL MÉTODO UCL

Tamices UNE (mm)	Porcentaje que pasa	
	A	B
12.5	100	100
10	82	100
5	38	100
2,5	6	80
0,63	0	0

Fuente. Félix Pérez Jiménez y Rodrigo Miró Recasens (1994)

FIGURA 2. 18 MEZCLA PATRÓN DEL MÉTODO UCL



Fuente. Félix Pérez Jiménez y Rodrigo Miró Recasens (1994)

TABLA 2. 11 EQUIVALENCIAS DE LOS TAMICES UNE A LA NORMA ASTM

Norma UNE 7050 Abertura (mm)	Norma ASTM C33-85	
	Nº	Abertura (mm)
80	3"	76,2
40	1 1/2"	38,1
20	3/4"	19
12,5	1/2"	12,5
10	3/8"	9,5
5	Nº 4	4,75
2,5	Nº 8	2,36
1,25	Nº 16	1,18
0,63	Nº 30	0,6
0,31	Nº 50	0,3
0,16	Nº 100	0,15
0,08	Nº 200	0,075

Fuente: Elaboración Propia

2.9.7 Adaptación del Ensayo

Como ya se ha comentado, el ensayo cántabro de pérdida por desgaste fue desarrollado como un procedimiento para valorar en laboratorio la cohesión de las mezclas abiertas. Esta cohesión es proporcionada a la mezcla fundamentalmente por la capa continua de ligante que envuelve todas y cada una de sus partículas. No obstante, hay otros factores y propiedades, tanto del árido como del ligante, que también influyen en la pérdida por desgaste. Estos factores son:

- Porcentaje de árido fino.
- Granulometría del árido fino.
- Tipo y naturaleza del árido fino.
- Porcentaje de filler.
- Tipo y naturaleza de filler.
- Granulometría del árido grueso.
- Tipo y naturaleza del árido grueso.
- Porcentaje de ligante.
- Tipo y naturaleza del ligante.
- Temperatura de ensayo.

Los cinco primeros factores pueden ser eliminados si se ensayan probetas fabricadas únicamente con el árido grueso y ligante. La influencia de la granulometría, tipo y naturaleza del árido grueso, porcentaje de ligante y temperatura de ensayo puede ser eliminada si se mantienen constantes durante todo el proceso, quedando como única variable el tipo y naturaleza del ligante, de la que dependerán las propiedades de la mezcla.

CAPÍTULO III

ASPECTOS GENERALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y AGREGADOS PÉTREOS

3.1 DEFINICIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al 2004).

Se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los pavimentos para tráfico pesados intensos.

Están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

3.2 EMPLEO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

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, además 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 el diseño y proyecto de un pavimento:

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben obtener las siguientes características:

3.3.1 Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/ft^3). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ($1,000 \text{ kg}/\text{m}^3$ ó $62.416 \text{ lb}/\text{ft}^3$). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no adecuada.

3.3.2 Vacíos de Aire

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios donde puede fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5%, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes a través de la mezcla por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado,

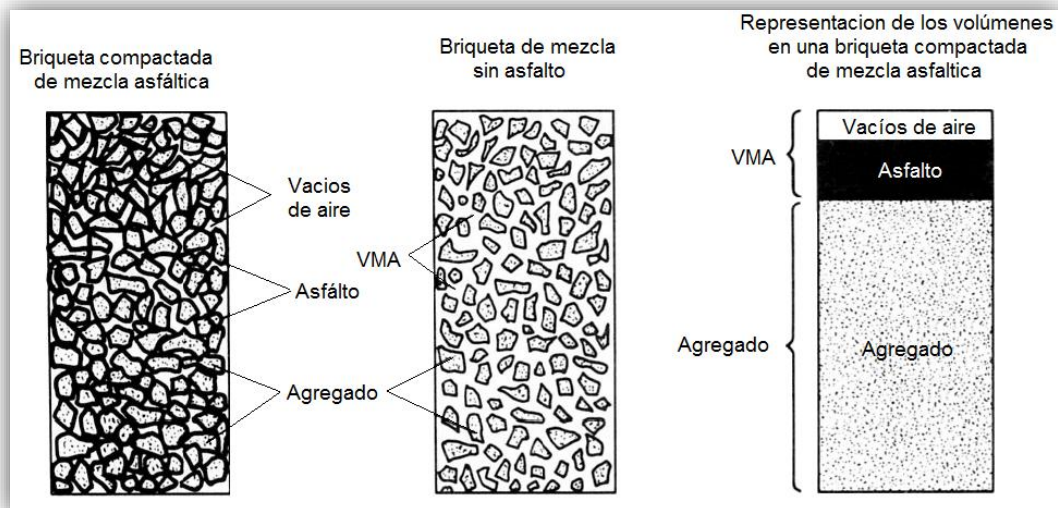
un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto, una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

3.3.3 Vacíos en el Agregado Mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (i.e. todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. Cuanto mayor sea el VMA, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA, los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño de agregado.

FIGURA 3. 1 ESTRUCTURA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA



Fuente: Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto

3.3.4 Contenido de Asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece al usar los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

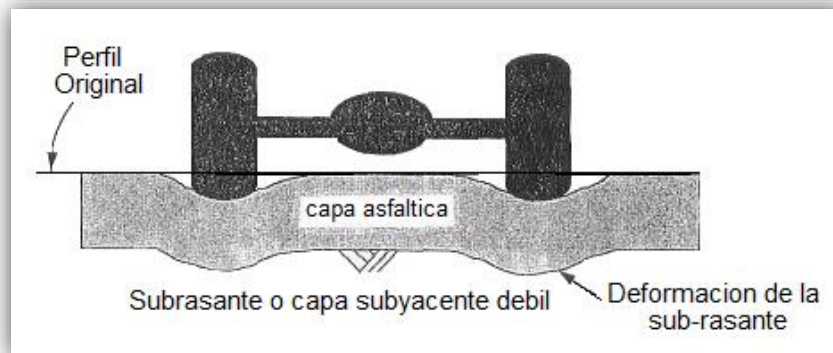
El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total. La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz 0.075 mm (No 200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca.

3.3.5 Resistencia a la Deformación Permanente

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 irre recuperable. 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 (3.2)).

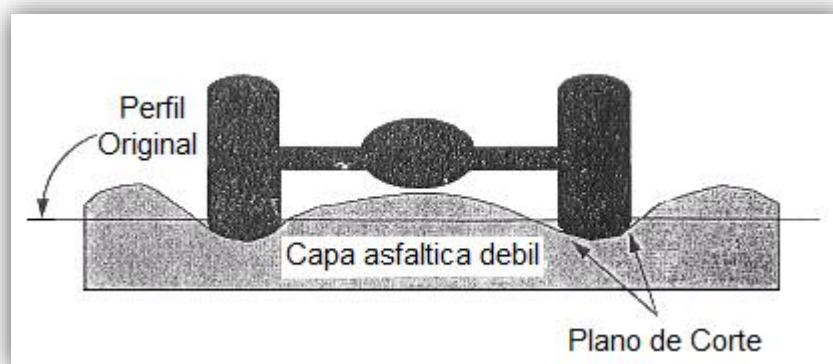
FIGURA 3. 2 AHUELLAMIENTO DE UNA SUBRASANTE DÉBIL



*Fuente: Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto
MS-2*

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 (3.3)).

FIGURA 3. 3 AHUELLAMIENTO DE UNA MEZCLA DÉBIL



*Fuente: Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto
MS-2*

3.3.6 Resistencia a la Fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de investigaciones que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (el período de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Asimismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

La Tabla (3.1) presenta una lista de causas y efectos que conducen a una mala resistencia a la fatiga.

TABLA 3. 1 CAUSAS Y EFECTOS DE UNA MALA RESISTENCIA A LA FATIGA

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado del pavimento	Demasiada flexión, seguido por agrietamiento por fatiga.

Fuente: Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente”- Instituto Salvadoreño de Asfalto.

3.3.7 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores

pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, dificultando la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

TABLA 3. 2 CAUSAS Y EFECTOS DE POCA DURABILIDAD

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Difícil compactar, desprendimiento, fisuras prematuras
Alto contenido de vacíos en el pavimento	Mezcla porosa, desprendimiento, fisuras prematuras
Mezcla susceptible al daño por humedad	Desprendimiento superficial, desintegración de capas abajo de la superficie, baches

Fuente: Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente”- Instituto Salvadoreño de Asfalto.

3.3.8 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos

es más importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados. La Tabla 3.3 cita ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos asfálticos de graduación densa.

TABLA 3. 3 CAUSAS Y EFECTOS DE LA PERMEABILIDAD

Causas	Efectos
Bajo Contenido de Asfalto	Las películas delgadas de asfalto causaran tempranamente un envejecimiento, y una desintegración de la mezcla.
Alto Contenido de Vacíos en la Mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación Inadecuada	Vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua.

Fuente: Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente”- Instituto Salvadoreño de Asfalto.

3.3.9 Resistencia al Deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento

(hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, a una velocidad de 65 km/h.

3.3.10 Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir deslizamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento es capaz de mantener su forma y finura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

TABLA 3. 4 CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO

Causas	Efectos
Exceso de Asfalto	Ahuellamiento, Exudación.
Exceso de Arena Natural no Angular	Mezcla blanda durante la compactación, Ahuellamiento.
Agregado redondeado sin suficientes caras trituradas	Ahuellamiento.

Fuente: Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente”- Instituto Salvadoreño de Asfalto.

3.3.11 Flexibilidad

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos de la subrasante. La flexibilidad es una característica

deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

3.3.12 Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con una mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada al modificar los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o granulometría. Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva viscosa, al dificultar su compactación.

TABLA 3. 5 CAUSAS Y EFECTOS DE PROBLEMA EN LA TRABAJABILIDAD

Causas	Efectos
Tamaño Máximo de partículas grandes	Superficie Áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de Compactar
Temperatura muy baja de Mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable, superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño mixto	La mezcla se desplaza bajo la compactadora, permanece firme o blanda.
Bajo contenido de relleno Mineral	Mezcla firme, altamente permeable
Alto contenido de relleno Mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente” - Instituto Salvadoreño de Asfalto.

3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

TABLA 3. 6 CLASIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN	TIPO DE MEZCLA
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frio
	En Caliente
Vacíos en la mezcla (h)	Cerradas ($h > 6\%$)
	Semi-cerradas ($6\% < h < 12\%$)
	Abiertas ($h > 12\%$)
	Porosas ($h > 20\%$)
Tamaño máximo del agregado (t máx.)	Gruesas (t máx. > 10 mm)
	Finas (t máx. < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

Fuente: "Ingeniería de Carreteras" Vol. 1 y Vol. 2. McGraw Hill

3.4.1 Por Fracciones de Agregado Pétreo Empleados

Estas se subdividen en:

3.4.1.1 Masillas

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que si hay agregado grueso, se haya disperso en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibras.

3.4.1.2 Mortero asfáltico

Agregado fino más masilla.

3.4.1.3 Concreto asfáltico

Agregado grueso más mortero.

3.4.1.4 Macadam

Agregado grueso más ligante asfáltico.

3.4.2 Por la Temperatura de Puesta en Obra

3.4.2.1 Mezclas asfálticas en caliente

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los pavimentos.

3.4.2.2 Mezclas asfálticas en frío

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante.

3.4.3 Por la Proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

3.4.3.1 Mezclas cerradas o densas

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes. En estas mezclas la proporción de vacíos no supera el 6 %.

3.4.3.2 Mezcla semi-cerradas o semi-densas

Es el rango intermedio de las mezclas densas y abiertas. La proporción de vacíos está entre el 6-10%.

3.4.3.3 Mezclas abiertas

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el hidropneumático, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. La proporción de vacíos supera el 12 %.

3.4.3.4 Mezclas porosas o drenantes

Las mezclas asfálticas drenantes pueden definirse como aquellas mezclas asfálticas cuyo contenido de vacíos es suficientemente alto para permitir que a través se filtre el agua de lluvia con rapidez y pueda ser evacuada hacia las bermas, cunetas u otros elementos de drenaje, evitando su permanencia en la superficie de la capa de rodadura, incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.

Habitualmente se admite que para que una mezcla pueda considerarse drenante debe tener un contenido inicial de vacíos del 16%. Este límite establecido, 16%, puede parecer arbitrario. Realmente con valores inferiores de porosidad las mezclas pueden tener una capacidad drenante apreciable.

3.5 AGREGADOS PÉTREOS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

El agregado es también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de arena. El agregado

constituye el 95 por ciento, en peso, y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

El agregado es el componente estructural de una (MAC), por lo tanto deben ser:

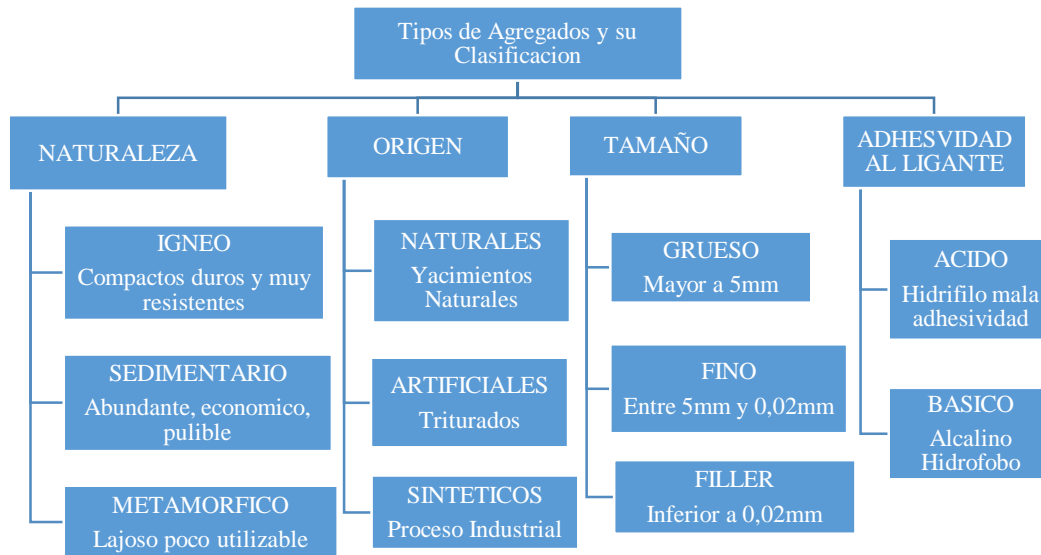
- Limpio, libre de grumos, arcilla u otro material orgánico.
- Con alta dureza y abrasividad
- Únicamente material triturado
- Con múltiples caras fracturadas en todos los diferentes tamaños, incluyendo los finos.
- Un peso específico constante.
- Una granulometría controlada.
- Cúbico.

El control de la calidad del agregado usado es un factor crítico en el comportamiento de una carpeta de concreto asfáltico, sin embargo, además de la calidad se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación, estos criterios incluyen el costo, la disponibilidad del agregado su origen y además, deberá cumplir con ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para concreto asfáltico de buena calidad.

3.5.1 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.

FIGURA 3. 4 TIPOS DE AGREGADO Y SU CLASIFICACIÓN



Fuente: Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente”- Instituto Salvadoreño de Asfalto.

3.5.2 Naturaleza Petrológica de los Agregados Pétreos

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

3.5.2.1 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 período 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 adición de 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.

3.5.2.2 Agregados sedimentarios

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal yeso), o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales. Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceos y calcáreos, que son llamadas también calizas por su alto porcentaje de carbonato de calcio.

3.5.2.3 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 pavimentos, 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).

3.5.2.4 Agregados silíceos

Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en todas las capas de los pavimentos. 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.

3.5.3 Tipos de Agregados Pétreos Según su Origen

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:

3.5.3.1 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.

3.5.3.2 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 de canteras cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

3.5.3.3 Agregados artificiales

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

3.5.3.4 Agregados marginales

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

3.5.4 Ensayos de Caracterización a los Agregados para Mezcla Asfáltica

Existen una variedad de ensayos para caracterizar los agregados pétreos que son utilizados para fabricar las mezclas asfálticas, y así determinar su calidad y si cumplen o no con las especificaciones que la norma exige. Sin embargo hay ensayos recomendados por el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) que dicha institución es la encargada de varios proyectos de asfaltado de carreteras basadas en normas vigentes en el país. Dichos ensayos son los más importantes y determinantes en la elección del agregado, como defectos los demás características cumplirán con las especificaciones. Por tal motivo en esta investigación solo se harán las prácticas de dichos ensayos que son relevantes y determinantes para la elección del agregado pétreo (Ver Anexos).

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN SOBRE LA APLICABILIDAD DEL MÉTODO UCL EN LA CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS

4.1 TOMA DE MUESTRAS PARA LA INVESTIGACIÓN

Para esta investigación se tomaron las muestras como indican la norma, (si es que hubiese alguna especificación).

4.1.1 Muestras del Agregado Pétreo

El banco de materiales que se eligió fue el del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) ubicado en la comunidad de San José de Charaja, por la importancia que esta chancadora representa para el departamento y además de ser la más recomendada.

Para la toma de muestras se utilizaron bolsas de plástico con una capacidad de 60 kg., aprox., lo suficiente como para realizar los ensayos de laboratorio para la caracterización, para la mezcla asfáltica según el Método UCL.

Se eligió dos tipos de agregado de acuerdo de acuerdo a la banda granulométrica de trabajo, agregado de tamaño máximo de 3/8" y arena triturada del banco de materiales del SEDECA. La cantidad que se trajo fue de 100 kg., de cada tipo de agregado ya mencionado anteriormente.

4.1.2 Muestras de los Ligantes Asfálticos

4.1.2.1 Muestra 1 asfalto convencional 85/100 Ipiranga (Brasil)

Para la toma de la 1° muestra se trasladó a la planta procesadora de mezcla asfáltica ubicado en la comunidad de San José de Charaja perteneciente al Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), con la previa autorización se retiró la muestra de los contenedores a 120°C en latas con tapa a presión como lo indica la tabla (5.5.1).

Según la norma boliviana se debe realizar un muestreo como lo indica el ensayo “MÉTODO DE MUESTREO (ASTM D 140 AASHTO T40-78)” pero por no contar con los equipo de muestreo adecuados se realizó de una forma improvisada, utilizando un recipiente metálico tipo jarra e introduciendo en el contenedor con mucho cuidado para no sufrir quemaduras. Una vez llenados los recipientes se esperó que enfríen para luego trasladarlos al laboratorio del SEDECA.

4.1.2.2 Muestra 2 asfalto convencional 85/100 Betunel (Brasil)

Para la toma de la 2° muestra se trasladó a la planta procesadora de mezcla asfáltica ubicado en el barrio el Carmen de la ciudad de Tarija, perteneciente a la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija, con previa autorización se retiró la muestra de los contenedores a 120°C en latas con tapa a presión como lo indica la tabla (5.5.1). Según la norma boliviana se debe realizar un muestreo como lo indica el ensayo “MÉTODO DE MUESTREO (ASTM D 140 AASHTO T40-78)” pero por no contar con los equipo de muestreo adecuados se realizó de una forma improvisada, utilizando un recipiente metálico tipo jarra e introduciendo en el contenedor con mucho cuidado para no sufrir quemaduras. Una vez llenados los recipientes se esperó que enfríen para luego trasladarlos al laboratorio del SEDECA.

4.1.2.3 Muestra 3 Asfalto Modificado 60/85 Betuflex (Brasil)

Para la toma de la 3° muestra se trasladó a la comunidad de Iscayachi, donde se ubican las oficinas de la empresa constructora Construmat, llevando una solicitud de provisión de muestra de asfalto Modificado, recibiendo una respuesta positiva se entrega la muestra de Asfalto Modificado con Polímero Tipo SBS 60/85.

TABLA 4. 1 RESUMEN DE MUESTRAS DE ASFALTO

Tipo de asfalto	Procedencia	Cantidad	Institución que lo utiliza
*Convencional 85/100	Ipiranga Brasil	8 litros	SEDECA
*Convencional 85/100	Betunel Brasil	8 litros	Alcaldía municipal de Tarija
**Modificado 60/85	Betuflex Brasil	8 litros	Constructora Construmat

Fuente: Elaboración propia

* La nomenclatura 85/100 corresponde a la clasificación por penetración

** Los números 60/85 corresponde a 60°C en punto de ablandamiento y 85% en recuperación elástica.

TABLA 4. 2 TIPOS DE EMBACE PARA MUESTREO

Tipo de asfalto	Tipo de envase
Cemento asfáltico	Lata de boca ancha con tapa a presión
Asfalto cortado	Lata de boca angosta con tapa a rosca
Emulsión	Recipiente plástico de boca ancha con tapa rosca
Sellante de juntas	Lata de boca ancha con tapa a presión

Fuente: "Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Asfaltos Volumen 4A"

Administradora Boliviana de Carreteras ABC

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

La caracterización de los agregado de TMN $\frac{3}{8}$ " y arena triturada que será parte del agregado fino se la realizo en el laboratorio de suelos y asfaltos del Servicio Departamental de Caminos SEDECA como también en el lab. De Suelos de la Universidad Autonoma Juan Misael Saracho (Ensayo de granulometrías) de acuerdo con el "Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Asfaltos Volumen 4A" Administradora Boliviana de Carreteras ABC, y tales ensayos de muestran en Anexos 1.

TABLA 4. 3 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO DE
TMN 3/8”

N°	Descripción	Unid	Resultado	Especificación		Designación de Ensayo
				Min	Max	
1	Densidad real del árido seco	gr/cm ³	2,59	-	-	A-0519
2	Densidad real del árido saturado sup. seco	gr/cm ³	2,63	-	-	A-0519
3	Densidad neta	gr/cm ³	2,69	-	-	A-0519
4	Absorción de agua	%	1,43	-	-	A-0519
5	Caras fracturadas	%	95,9	75		ASTM D 5821-95
6	Chatas y alargadas	%	2,5		10	MTC E221-1999
7	Desgaste los Ángeles	%	19,86		40	A0511

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4. 4 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO

N°	Descripción	Unid	Resultado	Especificación		Designación de Ensayo
				Min	Max	
1	Densidad real del árido seco	gr/cm ³	2,44	-	-	A-0520
2	Densidad real del árido saturado sup. seco	gr/cm ³	2,46	-	-	A-0520
3	Densidad neta	gr/cm ³	2,79	-	-	A-0520
4	Absorción de agua	%	5,92	-	-	A-0520
5	Equivalente de arena	%	59,2	45		A-0509

Fuente: Elaboración propia

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS LIGANTES ASFALTICOS POR LOS MÉTODOS CONVENCIONALES

La caracterización de los asfaltos seleccionados para la investigación se realizó en el Laboratorio de Suelos y Asfaltos del Servicio Departamental de Caminos SEDECA, siguiendo el Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Asfaltos Volumen 4A” Administradora Boliviana de Carreteras ABC, y tales ensayos de muestran en Anexos 2.

TABLA 4. 5 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO
IPIRANGA 85/100

N°	Descripción	Unid	Resultado	Especificación		Designación de Ensayo
				Min	Max	
1	Densidad	gr/cm ³	1,008	1	1,05	A-0102
2	Viscosidad Saibor Furol 135°C	Seg	91,6	85	-	A-033
3	Punto de ablandamiento anillo y bolas	°C	44	43	53	A-0110
4	Punto de inflamación (Copa de Cleveland)	°C	256,4	232	-	A-0106
5	Penetración 100gr 5seg.	mm	92,3	85	100	A-0103
6	Ductilidad a 25°C y 5cm/min	cm	130,1	75	-	A-0105
7	Ensayo de la Mancha		Negativo			A-0104

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4. 6 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO
BETUNEL 85/100

N ^o	Descripción	Unid	Resultado	Especificación		Designación de Ensayo
				Min	Max	
1	Densidad	gr/cm ³	1,006	1	1,05	A-0102
2	Viscosidad Saibor Furol 135°C	Seg	102	85	-	A-033
3	Punto de ablandamiento anillo y bolas	°C	48	43	53	A-0110
4	Punto de inflamación (Copa de Cleveland)	°C	255,3	232	-	A-0106
5	Penetración 100gr 5seg.	mm	86,5	85	100	A-0103
6	Ductilidad a 25°C y 5cm/min	cm	125,5	75	-	A-0105
7	Ensayo de la Mancha	-	Negativo			A-0104

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4. 7 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO
MODIFICADO 60/85 CON POLÍMERO TIPO SBS

N ^o	Descripción	Unid	Resultado	Especificación		Designación de Ensayo
				Min	Max	
1	Peso específico	gr/cm ³	0,99			A-0102
2	Recuperación elástica	%	90	85		A0202
3	Punto de ablandamiento	°C	70	60		A-0110
4	Penetración	mm	63,4	-	-	A-0103

Fuente: Elaboración propia

4.4 ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS MARSHALL DE ACUERDO CON EL MÉTODO A-0615 “MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE”.

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas abiertas, empleando la máquina de Desgaste de Los Ángeles.

El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra de las mismas. Se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.

El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, la trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Equipos y materiales

1. Equipo de compactación

Formado por el molde, collar, placa de base y martillo de compactación empleados en el Método A0608 para la fabricación de probetas Marshall.

2. Máquina de Los Ángeles

La máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características indicadas en el Método A0511.

3. Termómetros

Para medir la temperatura de los áridos, ligante y mezcla asfáltica, se emplearán termómetros con escala hasta 200 °C y sensibilidad de 3 °C. Para la medida de la

temperatura a la que se realiza el ensayo, se utilizará un termómetro con escala de 0 a 40°C y sensibilidad de 0,5°C.

4. Balanzas

Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de precisión para la preparación de las mezclas.

5. Material general

Bandejas, bolo, espátulas, guantes de cuero, lápices marcadores, cogedores curvos, discos de papel filtro, etc.

Preparación de las briquetas

1. Preparación de los áridos

Las distintas fracciones de áridos que componen la mezcla se secan en horno hasta masa constante a una temperatura de 105 a 110 °C.

2. Temperatura de mezcla y compactación

Las temperaturas del ligante en la mezcla y compactación de las probetas, serán las adecuadas para hacer compatible un buen cubrimiento sin que se produzca escurrimiento. En nuestro caso se mezclará a 160-165 °C y una temperatura de compactación de 130-135 °C.

3. Preparación de mezclas.

Se pesan sucesivamente en una balanza tarada las cantidades de cada fracción de los áridos necesarios para la fabricación de una probeta, de tal modo que la cantidad de áridos sea de 1000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en el Método A0608 para la fabricación de las probetas Marshall.

4. Compactación de las mezclas

La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en el Método A0608.

Descripción grafica del proceso de fabricación de las briquetas

FIGURA 4. 1 CALENTADO DE LA MUESTRA Y DE LOS MOLDES



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 2 CALENTADO DEL AGREGADO Y PESADA DE LA MEZCLA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 3 PROCESO DE MEZCLADO 160° C Y ENFRIADO HASTA 135° C



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 4 VACIADO AL MOLDE PARA COMPACTAR Y BRIQUETAS COMPACTADAS



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 5 DESMOLDADO DE LA BRIQUETA



Fuente: Elaboración propia

4.5 DESARROLLO DE LA CARACTERIZACIÓN POR EL MÉTODO UCL

4.5.1 Aplicación a la Medida de la Cohesión

Con objeto de comprobar la validez del ensayo cántabro de pérdida por desgaste en la valoración de la cohesión de los ligantes asfálticos, se aplicó éste en el estudio de la cohesión de los tres asfaltos seleccionados para este estudio.

Con cada tipo de ligante, manteniendo constante el porcentaje utilizado 4,5 % de asfalto sobre 1000 gr de árido sin finos, se fabricaron 27, que se agruparon en 9 grupos de 3 briquetas cada uno, compactadas en la compactadora Marshall, empleando 50 golpes por cara, con la particularidad de colocar en cada cara un papel de filtro para conseguir una buena textura y un buen acabado en la briqueta, ya que su falta produce pérdidas de material en las bases debido a que éste se queda adherido en la maza de la compactadora.

Una vez desmoldadas las briquetas, se determinó su densidad y contenido de huecos de un grupo de 9 briquetas 3 por cada tipo de asfalto, a partir de la medida del volumen y la densidad relativa de los materiales. Los resultados, recogidos en la tabla (4.8), ponen de manifiesto la escasa dispersión que se obtuvo en la fabricación de las briquetas, por lo tanto asumimos el promedio de vacíos de las diez briquetas como el porcentaje de vacíos.

TABLA 4. 8 PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS BRIQUETAS ANALIZADAS

Asfalto	N°	Peso Seco (gr)	Peso SSS (gr)	Peso Sum. (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Específica (gr/cm ³)	Gravedad Máxima Teórica (gr/cm ³)	% de Vacíos	Prom. (%)
Ipiranga	1	1044,5	1063,2	595,9	467,3	2,235	2,533	14,19	14,65
	2	1041,2	1073,9	598,5	475,4	2,190	2,533	15,62	
	3	1041,2	1065,5	596,3	469,2	2,219	2,533	14,14	
Betunel	4	1040,6	1061,2	595,9	465,3	2,237	2,533	13,25	13,36
	5	1043,5	1061,0	597,2	463,8	2,250	2,533	12,59	
	6	1043,5	1068,8	598,6	470,2	2,219	2,533	14,24	
Betuflex	7	1044,2	1067,1	596,7	470,4	2,220	2,533	14,12	14,44
	8	1040,3	1067,1	594,4	472,7	2,201	2,533	15,10	
	9	1039,3	1062,5	594,3	468,2	2,220	2,533	14,10	

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos nos muestran la mínima diferencia entre los vacíos de cada tipo de asfalto por lo que se puede despreciar la influencia en las pérdidas.

Un grupo de 27 briquetas por cada tipo de asfalto los cuales se ensayaron a temperatura ambiente (25 ± 1 °C), a 100, 200 y 300 revoluciones, después de mantenerlas durante 12 horas a la temperatura de ensayo. Los resultados obtenidos se pueden observar en las tablas

FIGURA 4. 6 MEDIDA DE LA COHESIÓN



Pesada de las briquetas, Colocado de briquetas en la máquina de los ángeles

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 9 PERDIDAS AL CÁNTABRO A 25° C Y DIFERENTES GRADOS DE SEVERIDAD (ASFALTO IPIRANGA)

	N° de Briqueleta	N° de Rev.	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Promedio (%)
Asfalto Ipiranga 85/100	1	100	1036,9	973,2	6,14	6,08
	2		1041,5	978,7	6,03	
	3		1041,2	978,0	6,07	
	4	200	1040,6	913,0	12,26	12,21
	5		1043,5	916,7	12,15	
	6		1042,6	915,1	12,23	
	7	300	1044,2	873,6	16,34	16,29
	8		1040,3	871,3	16,25	
	9		1039,3	870,0	16,29	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 10 PERDIDAS AL CÁNTABRO A 25° C Y DIFERENTES GRADOS DE SEVERIDAD (ASFALTO BETUNEL)

Asfalto Betunel 85/100	N° de Briquea	N° de rev.	Peso Inicial (%)	Peso Final (%)	% de Pérdida	Promedio (%)
	10	100	1038,3	972,3	6,36	6,38
	11		1038,5	971,9	6,41	
	12		1039,1	972,8	6,38	
	13	200	1039,2	907,7	12,65	12,69
	14		1039,2	906,2	12,80	
	15		1040,3	908,9	12,63	
	16	300	1035,6	855,5	17,39	17,48
	17		1042,5	860,1	17,50	
18	1035,3		853,6	17,55		

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 11 PERDIDAS AL CÁNTABRO A 25° C Y DIFERENTES GRADOS DE SEVERIDAD (ASFALTO MODIFICADO)

Asfalto Modificado Betuflex con Polímero SBS	N° de Briquea	N° de Rev.	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Promedio (%)
	19	100	1043,3	1012,0	3,00	3,05
	20		1036,3	1005,7	2,95	
	21		1035,2	1002,1	3,20	
	22	200	1038,3	974,4	6,15	6,10
	23		1038,5	976,2	6,00	
	24		1039,3	975,4	6,15	
	25	300	1036,3	951,3	8,20	8,17
	26		1036,6	952,6	8,10	
27	1043,7		957,9	8,22		

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2 Aplicación a la Medida de la Susceptibilidad Térmica

Si evaluamos la cohesión que un determinado ligante proporciona a una mezcla mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste, las pérdidas obtenidas dependerán de la temperatura a la que se realice el ensayo. La mayor o menor susceptibilidad térmica de un ligante hará que al variar la temperatura de ensayo obtengamos mayores o menores pérdidas, consecuencia de la mayor o menor cohesión que el ligante proporciona a la mezcla.

Esta idea nos indica la posibilidad de aplicar el ensayo cántabro de pérdida por desgaste para evaluar la variación del comportamiento del ligante con la temperatura, esto es, para valorar su susceptibilidad térmica.

Como es bien conocido, los ligantes bituminosos son materiales termoplásticos que presentan un intervalo de plasticidad reducido, comportándose a bajas temperaturas como productos frágiles y quebradizos, y a temperaturas moderadamente elevadas como productos viscosos.

Por lo tanto, al variar la temperatura, un mismo betún presenta características asimilables a las de un cuerpo frágil, elasto-plástico o viscoso. Esta variación del estado del ligante con la temperatura puede ser evaluada y cuantificada mediante el empleo del ensayo cántabro de pérdida por desgaste.

Se fabricaron 12 briquetas por cada tipo de ligante. De las cuales 3 mantuvo durante 12 horas a las temperaturas de -10 , 10 , 40 , y 60°C respectivamente. Inmediatamente, se ensayaron a solo un grado de severidad (300 revoluciones), dado que en el ensayo de la cohesión no se mostraron pérdidas por encima de los 100%. En total se ensayaron 36 briquetas y los valores a 25°C se tomaron de la evaluación de la cohesión.

Debido a que las condiciones del laboratorio no permitían realizar el ensayo a las distintas temperaturas fijadas en el estudio, ya que el motor de la máquina de Los Ángeles no podría funcionar a las temperaturas extremas. Por ello, se decidió mantener

la temperatura de ensayo en 25 °C, temperatura habitual para el ensayo cántabro de pérdida por desgaste. Ello implica que la temperatura de la probeta no se mantenga constante durante el tiempo de ejecución del ensayo; No obstante, al mantenerse constantes las condiciones de ensayo, todas las probetas de un mismo grupo sufrirían la misma variación de temperatura, que no se considera excesiva dada la relativa rapidez del ensayo (10 minutos aproximadamente).

Las tablas 4.12, 4.13 y 4.14 recogen los valores obtenidos, según el procedimiento desarrollado, de las pérdidas por desgaste a distintas temperaturas para cada uno de los asfaltos ensayados.

FIGURA 4. 7 BRIQUETAS SOMETIDAS A TEMPERATURAS EXTREMAS



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 12 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TEMPERATURAS
(ASFALTO IPIRANGA)

	N° de	N° de	Temp.	Peso	Peso	% de	Prom.	
	Briqueta	Rev.	°C	Inicial (gr)	Final (gr)	Pérdida		
Asfalto Ipiranga 85/100	28	300	-10	1043,2	566,7	45,68	45,70	
	29		-10	1044,3	578,8	44,58		
	30		-10	1040,5	553,0	46,85		
	31		10	1046,3	769,0	26,5	26,53	
	32		10	1044,2	777,3	25,56		
	33		10	1041,3	754,7	27,52		
			25					16,29
	34		40	1045,6	957,0	8,47	8,63	
	35		40	1045,6	953,1	8,85		
	36		40	1040,6	951,5	8,56		
	37		60	1042,9	877,2	15,89	15,93	
	38		60	1045,1	876,8	16,1		
39	60	1040,3	875,8	15,81				

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 13 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TEMPERATURAS
(ASFALTO BETUNEL)

Asfalto Betunel 85/100	N° de Briqueta	N° de Rev.	Temp. °C	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Prom.	
	40	300	-10	1040,3	469,6	54,86	54,28	
	41		-10	1041,3	462,0	55,63		
	42		-10	1039,3	495,1	52,36		
	43		10	1043,3	636,9	38,95	39,07	
	44		10	1042,7	630,2	39,56		
	45		10	1042,3	638,8	38,71		
			25					17,48
	46		40	1043,3	931,2	10,74	11,08	
	47		40	1043,3	922,9	11,54		
	48		40	1041,3	927,3	10,95		
	49		60	1041,2	810,3	22,18	22,77	
50	60		1040,9	795,9	23,54			
51	60	1043,9	808,2	22,58				

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 14 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TEMPERATURAS
(ASFALTO MODIFICADO)

Asfalto Modificado Betuflex con Polímero Tipo SBS	N° de Briqueta	N° de Rev.	Temp. °C	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Prom.	
	52	300	-10	1040,1	773,8	25,6	25,07	
	53		-10	1043,2	783,9	24,85		
	54		-10	1041,5	783,7	24,75		
	55		10	1038,2	845,9	18,52	18,76	
	56		10	1040,6	837,4	19,53		
	57		10	1041,5	851,6	18,23		
			25					8,17
	58		40	1043,5	988,6	5,26	5,34	
	59		40	1042,6	991,6	4,89		
	60		40	1043,2	982,0	5,86		
	61		60	1041,3	956,2	8,17	8,29	
	62		60	1040,6	952,7	8,45		
63	60		1040,3	954,5	8,25			

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3 Aplicación a la Medida de la Adhesividad Árido-Ligante

Para conseguir una adecuada resistencia al desgaste es condición necesaria una buena adherencia del ligante al árido. Pero la pérdida por desgaste no depende únicamente de la adherencia árido-ligante, sino que influyen otras propiedades del ligante: consistencia, fragilidad, viscosidad, etc. y del árido: forma, textura, dureza, etc. Por ello, resulta difícil la aplicación del ensayo cántabro de pérdida por desgaste a la valoración de la adhesión mecánica del ligante al árido. Pero donde si puede tener aplicación es en la medida de la adhesividad, adhesión del ligante al árido en presencia de agua.

Si comparamos los resultados obtenidos en la medida de la resistencia al desgaste de probetas mantenidas al aire frente a otro grupo de probetas, fabricadas con el mismo tipo de mezcla, pero que han sido mantenidas en agua durante un cierto tiempo antes del ensayo, la diferencia observada será únicamente debida al efecto de desmenuamiento producido por el agua. Es decir, el aumento de la pérdida por desgaste estará relacionado con la adhesividad del ligante al árido.

Este es el procedimiento general utilizado por los ensayos denominados mecánicos en la valoración de la adhesividad, pero en éste caso el procedimiento aquí expuesto tiene la ventaja de eliminar del ensayo otros factores que pueden influir sobre la resistencia y en ningún caso eran eliminados de los anteriores. Refiriéndose al efecto del filler y del árido fino. Al poder eliminar en su totalidad la presencia de finos y filler en la elaboración de la mezcla, las pérdidas estarán relacionadas únicamente con la adhesividad del ligante asfáltico a las partículas del agregado. Pero la adhesividad no es exclusiva del ligante, sino que a su vez depende del conjunto árido – ligante: un ligante presentará buena o mala adhesividad según el tipo y condiciones del agregado a utilizar. Por esto, para poder estudiar correctamente la adhesividad de un ligante hay que considerar el árido que se va a manipular.

En éste trabajo se evalúan dos condiciones de inmersión, la primera sumergiendo la briqueta un día a 60°C, (inmersión B), siendo ésta la más considerada, y la segunda condición, al sumergir la probeta durante cuatro días a una temperatura de 35°C, (inmersión A); compensando a ésta temperatura, el incremento del período de inmersión. Acto seguido al período de inmersión, las briquetas permanecerán secándose al aire a 25°C de temperatura durante 24 horas, tiempo después del cual se fallarán a 300 revoluciones.

Se fabricaron 6 briquetas por cada tipo de asfalto, donde 3 se sometieron en condiciones de inmersión (A), y las tres restantes en condiciones de inmersión (B), después se dejaron en proceso de secado al aire a 25°C. Los resultados obtenidos de las 18

briquetas en total se muestran en las tablas. Aclarando que en esta evaluación fueron tomados los valores de la cohesión como estado seco.

FIGURA 4. 8 BRIQUETAS EN INMERSIÓN A E INMERSIÓN B



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 15 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES ESTADOS DE INMERSIÓN (ASFALTO IPIRANGA)

Asfalto Ipiranga 85/100	N° de Briqueta	N° de Rev.	Estado de Inmersión	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Prom. (%)
				Seco			16,29
	64	300	Inmersión A	1044,3	610,4	41,55	41,50
	65			1042,6	609,2	41,57	
	66			1040,2	609,9	41,37	
	67		Inmersión B	1041,5	506,8	51,34	51,20
	68			1041,2	509,1	51,10	
	69			1039,3	507,7	51,15	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 16 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES ESTADOS DE INMERSIÓN (ASFALTO BETUNEL)

Asfalto Betunel 85/100	N° de Briqueta	N° de Rev.	Estado de Inmersión	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Prom. (%)
		300	Seco			17,48	17,48
	70		Inmersión A	1040,3	545,8	47,53	47,61
	71			1043,2	546,3	47,63	
	72			1043,2	546,1	47,65	
	73		Inmersión B	1042,6	480,5	53,91	53,71
	74			1040,3	481,6	53,71	
	75			1039,3	483,1	53,52	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 17 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES ESTADOS DE INMERSIÓN (ASFALTO MODIFICADO)

Asfalto Modificado Betuflex con Polímero SBS	N° de Briqueta	N° de Rev.	Estado de Inmersión	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Prom. (%)
		300	Seco			8,17	8,17
	76		Inmersión A	1042,5	784,7	24,73	24,56
	77			1041,3	785,1	24,60	
	78			1039,3	786,2	24,35	
	79		Inmersión B	1039,3	684,5	34,14	34,23
	80			1039,5	683,2	34,28	
	81			1039,6	683,4	34,26	

Fuente: Elaboración Propia

4.5.4 Aplicación a la Medida del Envejecimiento

El envejecimiento es un fenómeno complejo, en el cual existe una degradación y transformación de los componentes iniciales de cada ligante, perdiendo éstos sus propiedades, en el que influyen mucho las acciones, individuales o superpuestas, de los rayos ultravioletas del sol, el agua de lluvia, el calor, el aire, etc.

Esta evolución se inicia con las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso de mezcla, y progresa por las reacciones de oxidación y volatilización que se producen durante su vida de servicio.

La aplicación del ensayo cántabro de pérdida por desgaste se lleva a cabo sobre probetas de mezcla, en las que el ligante ya ha estado sometido a las condiciones de mezclado, esto es, valora las propiedades que éste proporciona a la mezcla una vez que ha sido incorporado a ella.

Además, cuando el asfalto se incorpora a la mezcla, envuelve de manera uniforme las partículas de árido, uniéndolas entre sí, esto es, constituye una película fina, que debido a la porosidad de la mezcla (15% aprox.) presenta una gran superficie expuesta al aire.

Por tanto, si sometemos las probetas a ciertas condiciones de envejecimiento acelerado, en realidad estaremos sometiendo el asfalto a un envejecimiento en película fina; la oxidación y endurecimiento del ligante, harán que se vuelva frágil, disminuyendo la resistencia a la disgregación de la mezcla. Entonces, la determinación de las pérdidas al cántabro puede poner de manifiesto la mayor o menor sensibilidad del asfalto frente al fenómeno de envejecimiento.

Las condiciones a las que deben someterse las probetas para simular un proceso de envejecimiento acelerado pueden ser muy variadas: radiación ultravioleta, humedad, ciclos de frío y calor, etc. No obstante, se trata de fijar unas condiciones, capaces de envejecer suficientemente los asfaltos, que sean fácilmente reproducibles en cualquier laboratorio.

A la vista de los medios disponibles del laboratorio de asfaltos del Servicio Departamental de Caminos y de los mecanismos que producen el envejecimiento de los asfaltos, las condiciones de envejecimiento establecidas han sido mantener las briquetas a una determinada temperatura en un horno, durante diversos períodos de tiempo, para así conseguir diferentes grados de envejecimiento. Con cada tipo de ligante asfáltico, se fabricaron 15 briquetas de las cuales se sometieron a 120 °C durante 5, 10, 20, 40, y 72 horas respectivamente.

Debido a la elevada temperatura a la que estarán sometidas las probetas, por encima del punto de ablandamiento de los asfaltos, podría producirse el desmoronamiento de la misma en el interior del horno, siendo imposible proceder a su ensayo. Para evitar este problema se procedió a dar la vuelta de forma manual a la probeta cada cierto intervalo de tiempo, sin presionarla directamente; cada 1 hora se invertía la posición de la probeta, invirtiendo por tanto el sentido del escurrimiento que pudiera producirse, evitando así tanto la acumulación de ligante en una única zona de la probeta, como la posible pérdida de material. La existencia de esta operación manual cada 1 hora hizo necesario el fraccionamiento del periodo de envejecimiento en función de las horas de trabajo: las probetas se mantenían en estufa durante periodos de 8 horas cada día, asegurando que previamente se hubiera alcanzado la temperatura de 120 °C.

Los resultados obtenidos de este proceso de evaluación de las 45 briquetas están recogidos en las tablas 4.18, 4.19, 4.20.

TABLA 4. 18 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TIEMPOS DE ENVEJECIMIENTO (ASFALTO IPIRANGA)

		N° de Briqueeta	N° de Rev.	Tiempo de Emveje (hr)	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Prom. (%)
Asfalto Ipiranga 85/100				0			16,29	16,29
		82	300	5	1041,8	836,9	19,67	19,97
		83			1042,23	837,2	19,67	
		84			1042,3	828	20,56	
		85		10	1043,2	612,5	41,29	41,24
		86			1042,7	613,1	41,20	
		87			1041,3	611,8	41,25	
		88		20	1041,5	538,2	48,32	48,82
		89			1043,3	526,1	49,57	
		90			1038,1	534	48,56	
		91		40	1038,2	435,4	58,06	58,22
		92			1041,5	438,2	57,93	
		93			1040,6	430,1	58,67	
		94		72	1043,5	356,5	65,84	65,66
		95			1042,6	355,8	65,87	
	96	1040,3			361,2	65,28		

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 19 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTE TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO (ASFALTO BETUNEL)

		N° de Briqueta	N° de Rev.	Tiempo de Emveje (hr)	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Prom. (%)
Asfalto Betunel 85/100				0			17,48	17,48
		97	300	5	1043,5	780,2	25,23	25,35
		98			1042,3	776,5	25,50	
		99			1042,3	778,3	25,33	
		100		10	1040,1	550,9	47,03	46,72
		101			1043,2	550,1	47,27	
		102			1041,3	563,7	45,87	
		103		20	1042,7	450,9	56,76	56,28
		104			1041,5	455,1	56,30	
		105			1038,1	459	55,78	
		106		40	1043,3	320,4	69,29	68,62
		107			1038,2	330,1	68,20	
		108			1040,6	329,1	68,37	
		109		72	1043,2	220,1	78,90	78,48
		110			1041,5	230,1	77,91	
	111	1042,3			222,8	78,62		

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4. 20 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TIEMPOS DE ENVEJECIMIENTO (ASFALTO MODIFICADO)

Asfalto Modificado Betuflex con Polímero Tipo SBS	Nº de Briqueta	Nº de Rev.	Tiempo de Emveje (hr)	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	% de Pérdida	Prom. (%)	
		300	0			8,17	8,17	
	112		5		1043,2	890	14,69	15,19
	113				1042,7	885,1	15,11	
	114				1042,3	877,9	15,77	
	115		10		1041,5	845,2	18,85	18,62
	116				1042,3	850	18,45	
	117				1041,3	848	18,56	
	118		20		1038,2	689,1	33,63	33,39
	119				1041,5	698,4	32,94	
	120				1041,5	691,6	33,60	
	121		40		1042,2	565,3	45,76	45,97
	122				1043,5	570,1	45,37	
	123				1042,2	554,7	46,78	
	124		72		1041,5	535,1	48,62	49,02
125				1041,8	535,1	48,64		
126		1040,3		522,3	49,79			

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Análisis de Resultados Obtenidos del Procedimiento UCL

En esta sección se hace un análisis minucioso de los resultados obtenidos durante la investigación presentando tablas de resumen con sus respectivas graficas de estado, para así poder emitir un criterio valido acerca de cuál es el asfalto que mejores propiedades presenta.

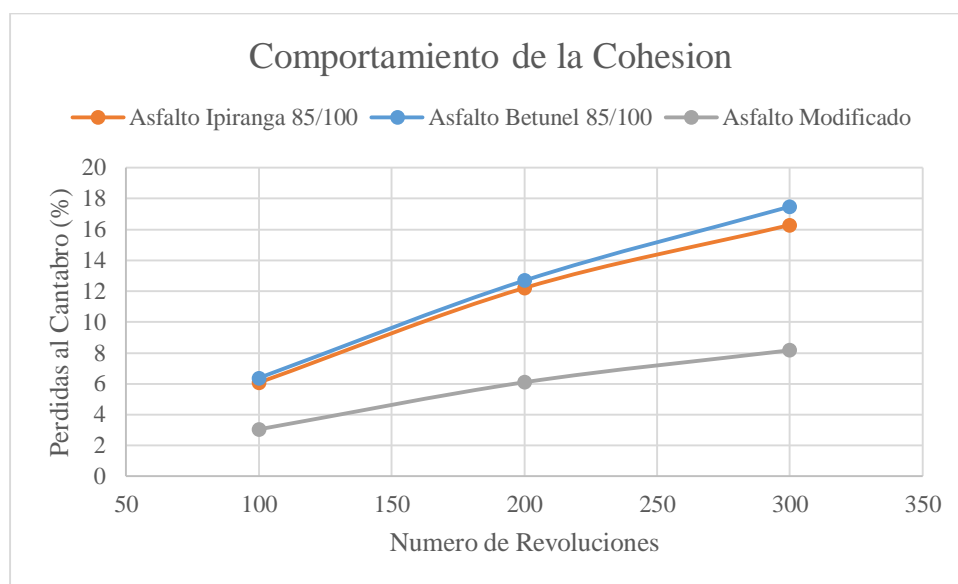
4.6.1 Análisis del Resultado de la Cohesión

TABLA 4. 21 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA COHESIÓN

Asfalto Ipiranga 85/100			Asfalto Betunel 85/100			Asfalto Modificado Betuflex con polímero		
100	200	300	100	200	300	100	200	300
6,08	12,21	16,29	6,38	12,69	17,48	3,05	6,1	8,17

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4. 9 COMPORTAMIENTO DE LA COHESIÓN



Fuente: Elaboración Propia

En la figura (4.9) se representan las pérdidas por desgaste obtenidas para cada uno de los asfaltos ensayados en función del número de revoluciones del tambor.

Obviamente, al aumentar la severidad del ensayo -número de revoluciones- las pérdidas aumentan para todos los tipos de ligante ensayados, un aumento que, en general, es más acusado al pasar de 200 a 300 revoluciones. Este hecho podría ser

significativo si el valor de las pérdidas fuese elevado, ya que a 300 vueltas podríamos perder sensibilidad en el ensayo, obteniendo pérdidas del 100% para cualquier asfalto. Aunque éste no es el caso, se deberá tener presente para posteriores ensayos.

Para esta temperatura, 25 °C, todos los asfaltos ensayados presentan pérdidas por desgaste relativamente bajas (< 20%) por lo que, para comparar su comportamiento, podemos fijarnos en el valor de las pérdidas a 300 revoluciones.

Entre los asfaltos de penetración, el Asfalto Betunel presenta mayores pérdidas (17,48%) que el Asfalto Ipiranga (16,29%). Aunque es en menor proporción debido a que ambos son de penetración 85/100. Esto parece lógico si se tiene en cuenta que cuanto más blando sea un asfalto (“92,3” Penetración del Asfalto Ipiranga) más capacidad tendrá para absorber energía en el momento del impacto, presentando menores pérdidas que un asfalto más duro que, debido a su mayor rigidez, será menos deformable y romperá en el momento del impacto. Por ello, la cohesión que el ligante proporciona a la mezcla, a 25 °C, aumenta a medida que el asfalto es más blando.

Respecto al asfalto modificado con polímero SBS, presenta menores pérdidas que cualquiera de los dos asfaltos de penetración. No obstante al comparar el aporte cohesivo de los diferentes tipos de asfaltos ensayados, es necesario tener en cuenta que la variación del porcentaje de vacíos podría tener influencia sobre las pérdidas obtenidas. A nivel individual la máxima variación del contenido de huecos en mezcla se registra entre el Asfalto Ipiranga 14,65 %, y el Asfalto Betunel con un 13,36 %, esto es una variación de 1,29 puntos que no tendrá una influencia considerable en el desgaste.

4.6.2 Análisis del resultado de la susceptibilidad térmica

En la tabla se muestran los porcentajes de pérdida al cántabro de los diferentes asfaltos ensayados, posteriormente se graficaran para su previo análisis.

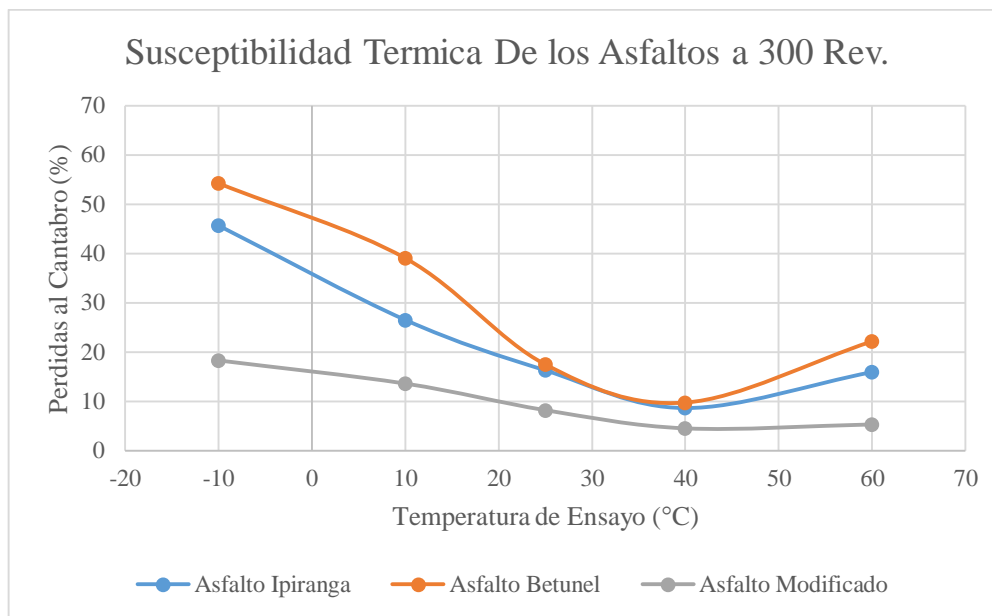
TABLA 4. 22 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA SUSCEPTIBILIDAD
TÉRMICA

N° de rev.	Temperatura de ensayo (°C)	Asfalto Ipiranga 85/100	Asfalto Betunel 85/100	Asfalto Modificado Betuflex
300	-10	45,7 %	54,28 %	18,3 %
	10	26,53 %	39,07 %	13,6 %
	25	16,29 %	17,48 %	8,2 %
	40	8,63 %	9,74 %	4,5 %
	60	15,93 %	22,18 %	5,3 %

Fuente: Elaboración Propia

Si representamos las pérdidas obtenidas a distintas temperaturas para todos los asfaltos ensayados figura 4.10 por ejemplo, podremos observar la variación del estado del ligante con la temperatura: a bajas temperaturas se obtienen elevadas pérdidas, que ponen de manifiesto el comportamiento frágil del ligante; a medida que aumenta la temperatura las pérdidas van disminuyendo hasta alcanzar un mínimo -comportamiento elastoplástico- a partir del cual se produce un incremento de las pérdidas (que puede llegar a ser muy acusado para asfaltos muy blandos), debido al comportamiento inconsistente del ligante a altas temperaturas.

FIGURA 4. 10 COMPORTAMIENTO DE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA



Fuente: Elaboración Propia

Mediante esta curva de estado podemos evaluar la susceptibilidad térmica del asfalto cuanto más tendida sea la curva, menos susceptible será el asfalto, y cuanto más cóncava, más susceptible.

También se puede ver que el asfalto modificado tiene una menor susceptibilidad a los cambios de temperatura, basta ver la concavidad de su curva de estado siendo ésta totalmente diferente a las curvas de estado de los asfaltos convencionales.

Vale la pena resaltar en ésta evaluación, la sensibilidad que caracteriza al método, ya que el punto de ablandamiento de los asfaltos de Ipiranga y Betunel, 44 y 48°C respectivamente, denota una diferencia en temperatura media (4°C), esperándose un valor de pérdidas similar; mientras que por medio de éste procedimiento se puede detallar de una manera más sencilla y práctica que las pérdidas (15,93 y 22,18 % a 60°C) presentan una variación de 6,62 siendo ésta diferencia un rango de gran importancia.

Aunque en éste caso el comportamiento inconsistente de los asfaltos ha quedado claramente definido a la temperatura de 60°C, especialmente el de los asfaltos de penetración, el ensayo carecería de sentido a temperaturas más elevadas, ya que se produciría un efecto de amasado, en el cual los áridos desprendidos en un impacto, se unirían de nuevo a la probeta en el siguiente impacto, sin reflejar ningún incremento de las pérdidas por desgaste, cuando sería lógico esperarlo. Por esto, si se quiere evaluar correctamente la transición del comportamiento elastoplástico al comportamiento inconsistente, deberá fraccionarse más el intervalo de temperatura entre 40 y 60°C, con el objetivo de tener una definición más detallada de la curva de estado en ésta zona, complementándose con una inspección visual de la consistencia de las briquetas.

4.6.3 Análisis del resultado de la adherencia árido-ligante

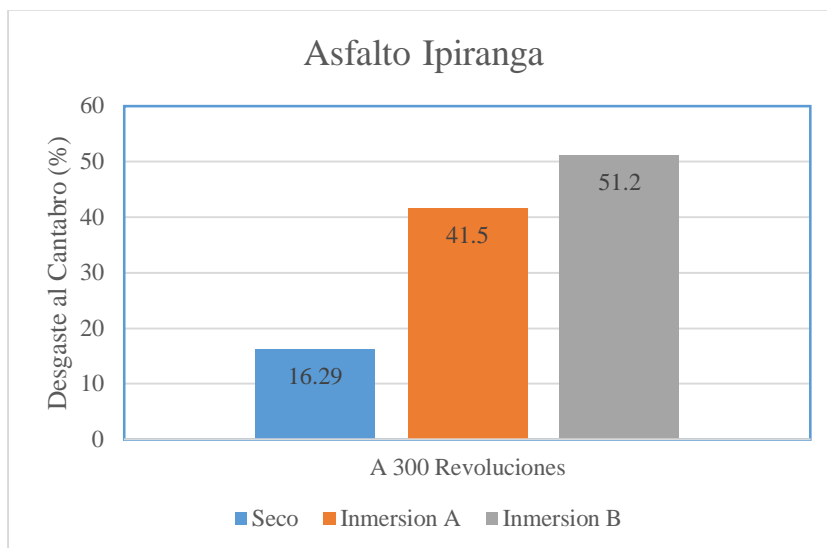
Los resultados obtenidos en el ensayo aparecen resumidos en la tabla 4.23 En la figura 4.19 se representan las pérdidas en seco y tras las dos condiciones de inmersión obtenidas, para cada uno de los asfaltos ensayados, en función del número de revoluciones del tambor a 300 revoluciones.

TABLA 4. 23 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ADHERENCIA
ÁRIDO-LIGANTE

Tipo de asfalto	Asfalto Ipiranga 85/100	Asfalto Betunel 85/100	Asfalto Modificado Betuflex 60/85
Núm. de Rev.	300	300	300
En seco	16,29	17,48	8,17
Inmersión A	41,37	47,61	24,56
Inmersión B	51,2	53,71	34,23

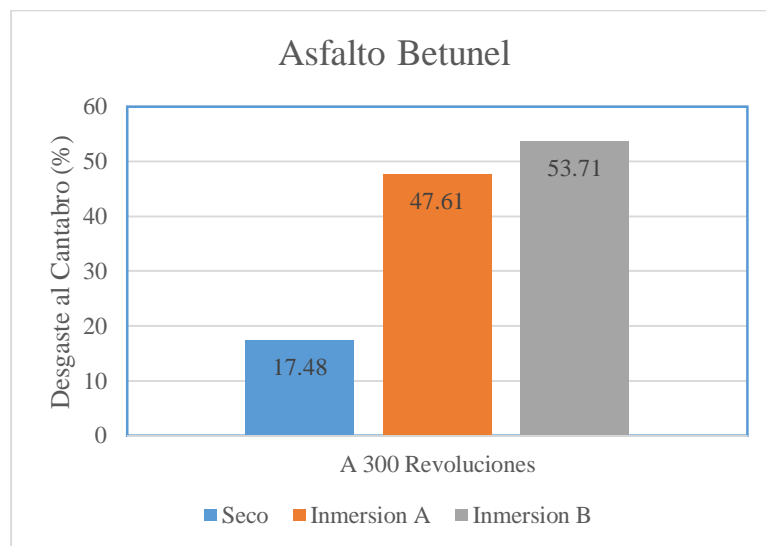
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4. 11 COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA (ASFALTO IPIRANGA)



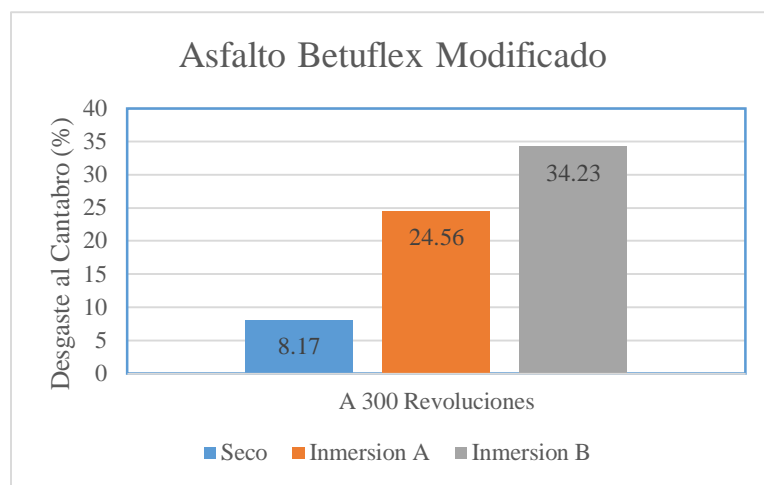
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4. 12 COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA (ASFALTO BETUNEL)



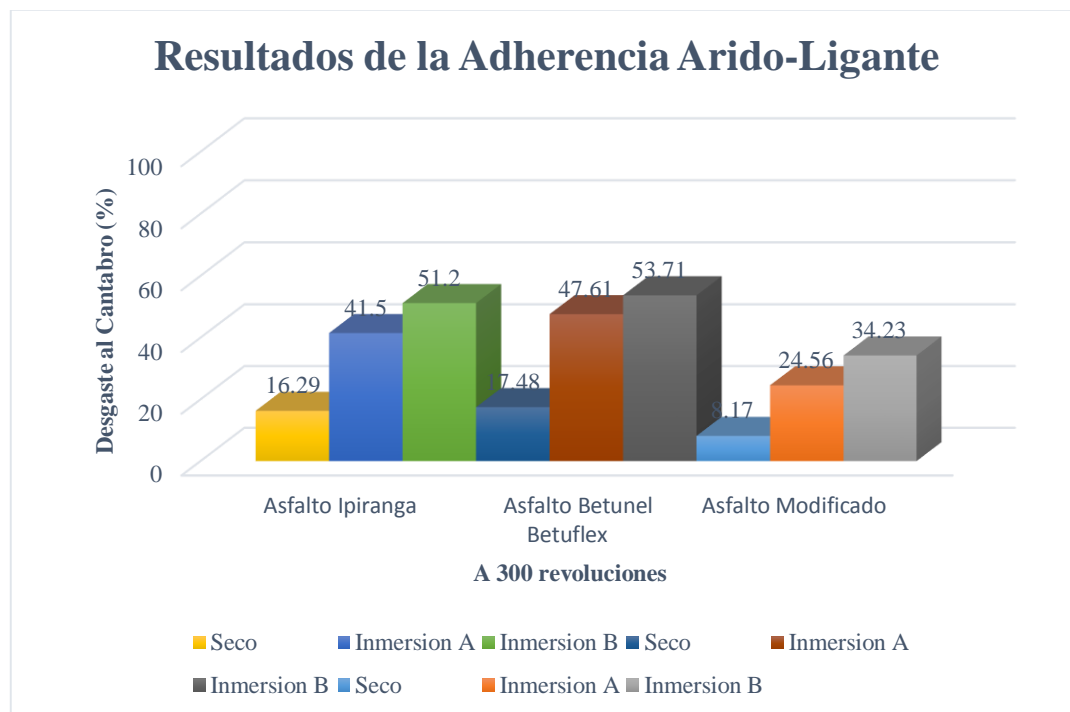
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4. 13 COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA (ASFALTO MODIFICADO)



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4. 14 COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA DE LOS TRES ASFALTOS ENSAYADOS



Fuente: Elaboración Propia

En primer lugar, se observa un fuerte incremento de las pérdidas tras la inmersión B, superiores al 50%, para los asfaltos convencionales, que pone de manifiesto una pobre adhesividad generalizada frente al árido utilizado. A diferencia del asfalto modificado que presenta menores pérdidas que los convencionales.

Como ya se ha indicado, al evaluar la adhesividad de los asfaltos mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste, estamos evaluando su adhesividad frente al tipo de árido utilizado en la mezcla; por tanto, al hablar de mejor o peor adhesividad de uno de los asfaltos ensayados, nos referimos a la combinación árido-ligante utilizada.

Entre los asfaltos de penetración, pese a la baja adhesividad que presentan, el mejor es el Asfalto Ipiranga, seguido del Asfalto Betunel y, finalmente, el Asfalto Modificado Betuflex.

4.6.4 Análisis del resultado del envejecimiento

En primer lugar, se analizará el comportamiento de los asfaltos de penetración. Para cualquier tiempo de envejecimiento, el asfalto Betunel presenta mayores pérdidas al cántabro y por tanto mayor envejecimiento que su par, el asfalto Ipiranga este es lógico puesto a que el primero tiene una dureza relativamente superior al segundo como lo demuestra su penetración en la previa caracterización que se hizo. Obviamente, el mayor contenido de aceites y volátiles que tengan en su composición hace que el envejecimiento se produzca más lentamente.

Por otra parte, todas las curvas de envejecimiento de los asfaltos de penetración tienen la misma forma y presentan unas pendientes más fuertes a corto plazo posteriormente se suavizan para los tiempos de envejecimiento más largos. Esto produce un envejecimiento más rápido al inicio de su vida de servicio, que se "ralentiza" a más largo plazo.

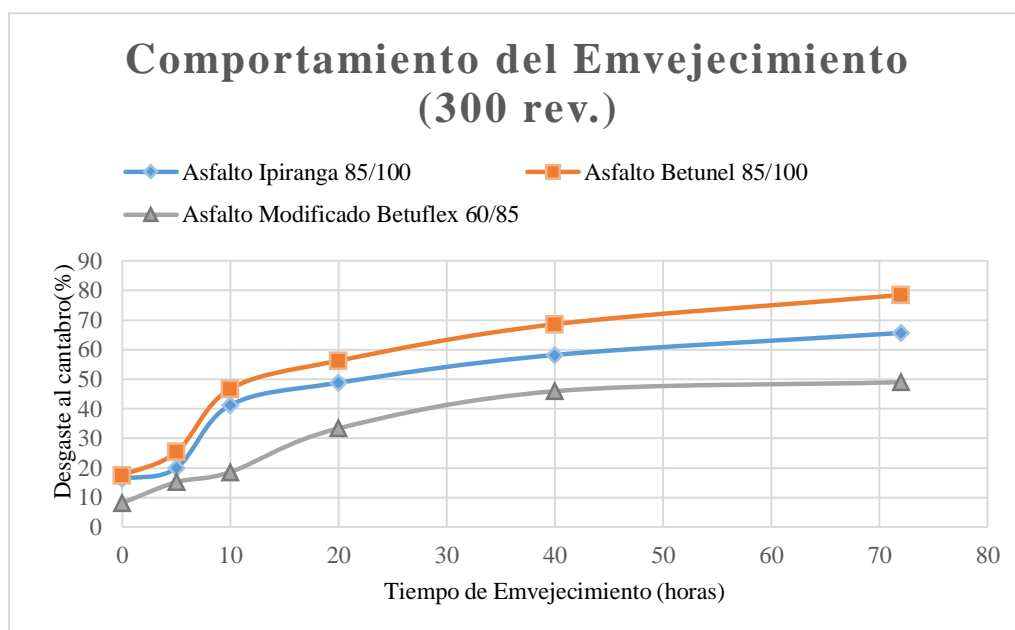
Esto se debe a que la pérdida de aceites y volátiles que se produce a medida que envejece el asfalto, se pierde mucho más a corto plazo, ya que a más largo plazo esta pérdida ya se ha producido y su efecto prácticamente desaparece.

TABLA 4. 24 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO

N° de Rev.	Tiempo de Emveje. (hr)	Asfalto Ipiranga 85/100	Asfalto Betunel 85/100	Asfalto Modificado Betuflex
		% de perdida		
300	0	16,29	17,48	8,17
	5	19,97	25,35	15,19
	10	41,24	46,72	18,62
	20	48,82	56,28	33,39
	40	58,22	68,62	45,97
	72	65,66	78,48	49,02

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4. 15 COMPORTAMIENTO DEL ENVEJECIMIENTO



Fuente: Elaboración Propia

Según las curvas presentadas se puede notar con claridad que el asfalto envejece a corto plazo y de golpe para luego ir paulatinamente perdiendo propiedades cohesivas a lo largo de su vida en servicio. Como se puede ver el asfalto modificado a diferencia de los convencionales tiende a envejecer de una forma gradual.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al evaluar los asfaltos para determinar la su respuesta a la Cohesión, se obtuvo el primer resultado que se fue manteniendo a lo largo de las pruebas. Los resultados manifiestan que los Asfaltos Modificados presentaron los menores porcentajes de pérdidas y los convencionales de penetración 85/100 tuvieron mayores, por lo que se comprueba que debido a la existencia de polímeros dentro de estas mezclas modificadas se pueden obtener mejores desempeños ofreciendo mayor resistencia al desgaste, dado que brindan mayor cohesión a la mezcla asfáltica.
- Existe una marcada tendencia en el aumento de la pendiente de las curvas de estado de Susceptibilidad Térmica que indica mayores porcentajes de pérdidas por desgaste, para todos los asfaltos del estudio, a temperaturas por debajo de los 0°C, lo que nos indica como todos los asfaltos sin excepción, aunque en diferente grado uno de otro, tienen estados rígidos y quebradizos a esas temperaturas.
- A temperaturas superiores a las de sus puntos de ablandamiento, los tres asfaltos analizados tienden a aumentar sus pérdidas después de los 40 °C. Demostrando que el asfalto perteneciente a una mezcla es más susceptible a daños cuando se encuentra a temperaturas mayores a las de su punto de ablandamiento; y en términos generales a mayor temperatura de servicio en la carpeta asfáltica mayor deterioro sufre ésta.
- Por la acción de desenvuelta del agua, el ligante se separa del árido, disminuyendo, por tanto, la cohesión de la mezcla. El incremento de las pérdidas determinadas en seco y tras inmersión de la mezcla en agua, está directamente relacionado con la adhesividad del ligante al árido: fuertes incrementos reflejan una mala adhesividad y viceversa.

- Al analizar los resultados de la prueba de Adhesión realizada a los cuatro asfaltos, se observa que si bien la presencia del agua para una mezcla asfáltica significa aumento de deterioro en la misma, que manifiesta una disminución de la adhesión del asfalto sobre las partículas de pétreo, sigue siendo más significativo la temperatura sobre la mezcla en servicio como indicativo de una mayor susceptibilidad al deterioro. Para comprobar esto solo basta comparar los resultados de pérdidas por desgaste de las tres condiciones de adhesión: 1 Inmersión A a 35°C durante 4 días, 2 Inmersión B a 60°C durante 24 horas, 3 En seco a 25°C. Donde la condición 2 fue la más desfavorable dado que además de encontrarse bajo los efectos del agua, esta tenía una temperatura alta.
- Entendiendo que la temperatura es el factor de más relevancia en el deterioro de una mezcla asfáltica, el ensayo de Durabilidad muestra las curva de estado, de los asfaltos estudiados, que expone como afecta a la mezcla asfáltica el período en el cual ha estado sometido la mezcla a una temperatura específica; en estas curvas observamos una tendencia aproximadamente lineal, con un escalón de pérdidas entre los períodos de 0hrs, 5hr a 10hrs, lo que explica que el deterioro se da a corto plazo.
- Tres asfaltos, de los más empleados en el departamento de Tarija, fueron estudiados para predecir el comportamiento que tendrán estos como parte de una mezcla asfáltica sobre una carretera. En términos generales fue el asfalto Modificado con Polímero Betuflex el que mejor resistencia presentó a cada uno de los ensayos realizados, demostrando poder aportar una mejor cohesión y adhesión a la mezcla, una mayor resistencia a la Susceptibilidad Térmica y una mejor respuesta al Envejecimiento indicando poder retener sus características originales durante un mayo período de tiempo. El segundo lugar lo ocupa el asfalto Convencional Ipiranga 85/100 que es utilizado por el Servicio Departamental de Caminos, seguido del

asfalto convencional Betunel que es utilizado por la Honorable Alcaldía Municipal de Cercado Tarija. Cabe aclarar que el hecho de que el asfalto Betunel quedé ubicado en último lugar al evaluar los aportes que puede hacer a la mezcla, no es indicio de que este asfalto no pueda emplearse en carreteras; lo que esta investigación simplemente concluye es que de los cuatro asfaltos estudiados es el que menor resistencia al desgaste presentó.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al iniciar un proyecto de carreteras se debería realizar un estudio similar a éste, simultáneamente al desarrollo del diseño Marshall, con el objetivo de comparar los posibles asfaltos con los que se fabricarán la mezcla de la carpeta, a manera de conocer cuál de los asfaltos que se tienen previstos, pueden usarse en la obra, resulta ser el más adecuado para el proyecto, siendo éste el que brinde mejores resultados de pérdidas por desgaste, garantizando un asfalto que aporte la mejor cohesión y adhesión a la mezcla, así como una mejor durabilidad y mejor resistencia a la temperatura de servicio; asegurándonos así, de haber empleado el asfalto de mejores características a la obra.
- Se debe utilizar una granulometría para una mezcla abierta, partir de una mezcla patrón cuya granulometría carece de llenante mineral, como lo especifica el método UCL, debido a que el principal objetivo de la aplicación de este método es la determinación de las propiedades cohesivas del ligante y al no tener finos la responsabilidad recaiga esencialmente en el ligante y no en lo que habitualmente se conoce como mástico (unión llenante mineral y asfalto).
- Es de suma importancia ser cuidadoso en el control efectuado a las temperaturas de mezclado y compactación, ya que éstas varían con respecto a las normas que rigen a las mezclas densas, puesto que el valor de viscosidad debe ser más elevado, para que así haya una adecuada envuelta de los áridos.

- Debe tenerse en cuenta, que dado que el problema de la adherencia es algo que relaciona dos materiales, cada que se produzca un cambio en el suministro de uno de ellos deberá evaluarse nuevamente este parámetro. En este sentido el método es mucho más eficaz que los habituales existentes para tal fin.
- Los áridos a emplearse para la fabricación de la mezcla patrón propuesta por el método UCL deben estar limpios, para que los resultados sean reales y coherentes.
- No se debe confundir el método UCL como un método de diseño de mezclas asfálticas, este método ha sido desarrollado con un solo fin “evaluar las propiedades cohesivas, susceptibilidad térmica, adherencia árido ligante y envejecimiento” por lo que queda descartado un diseño Marshall para el % de asfalto a utilizar en la mezcla patrón dicho asfalto ya está definido (4,5%) para 1000 gr de agregado con granulometría definida a base de estudios estadístico de reproducibilidad del método UCL.

