

CAPÍTULO I

1.1. Introducción

Es común ver deterioros en pavimentos flexibles producidos por fallas mecánicas y/o procesos químicos que reducen la vida útil del pavimento flexible, el agua es un agente atmosférico que produce una falla mecánica.

El agua presente al interior de las mezclas asfálticas empleadas en pavimentos acelera sus procesos de deterioro en la actualidad se reconoce que estos procesos de deterioro, en especial aquellos relacionados con fenómenos de fractura, tienen su origen en la fracción más fina de la mezcla, conocida como Matriz Asfáltica Fina o FAM.

Dentro de este contexto, para la ingeniería de pavimentos es relevante cuantificar la influencia que tiene la humedad relativa del ambiente en las propiedades mecánicas y reológicas de este material.

Las propiedades reológicas estudian el comportamiento de los fluidos sometidos a carga mecánica. La estructura sólida, al tener forma definida, cuando se somete a carga se deforma y se tensiona. Sin embargo la estructura líquida, al no tener forma definida, cuando se somete a carga no se deforma sino que al cambio producido en la posición de los átomos se le llama fluencia, y tampoco se produce tensión, ya que esta se libera con la fluencia.

La influencia es el efecto, consecuencia o cambio que produce una cosa en otra.

Los asfaltos convencionales llamados también Cementos Asfálticos. Son Asfaltos que se emplean en mezclas calientes de uso en construcciones de pavimentos asfálticos por sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes que le brindan característica de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis.

Los asfaltos convencionales se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por ensayo de Penetración.

La matriz asfáltica fina que también pueden denominarse morteros asfálticos, pues se trata de una mezcla que está formada básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico.

El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

La obtención de la matriz asfáltica fina se realiza de la composición de una mezcla de ligante asfáltico con agregados finos granulares los cuales están limitados en pasar el tamiz número 16 o 1.18 mm.

El diseño de estas mezclas debe estar sujeto al diseño de la mezcla asfáltica completa para que efectivamente represente su matriz fina.

Para preparar las muestras se llegará a compactar la matriz asfáltica fina y obtener las briquetas con el porcentaje de vacíos ya definido y dimensiones estandarizadas.

En este ensayo afectaremos las briquetas por efectos de vapor producidos por sales higroscópicas las cuales poseen la capacidad de modificar las condiciones de humedad relativa (%HR) de un ambiente definido.

Las muestras de matriz asfáltica fina estarán en contacto con la humedad relativa en intervalos de tiempo de 30 min, 60 min y 24 horas lo cual nos demostrará el grado de influencia que tiene la humedad relativa sobre la matriz asfáltica fina.

Luego de afectar las briquetas por la humedad relativa las procederemos a realizar la ruptura en la prensa Marshall determinando su estabilidad y fluencia, además de encontrar el grado de humedad que adquiere la matriz asfáltica fina.

De acuerdo a los resultados obtenidos podremos determinar el grado de influencia que tiene la humedad relativa en el comportamiento y deterioro de la matriz asfáltica fina.

Esta investigación servirá para técnicos diseñadores y constructores a la hora de proceder a la fabricación de mezclas asfálticas.

1.2. Justificación

La presente investigación se realizará porque es de gran importancia realizar un estudio de la influencia de la humedad relativa en la parte más fina de la mezcla asfáltica que es la matriz asfáltica fina ya que en la mayoría de deterioro del pavimento se debe a fallas mecánicas producidas por la humedad.

Lo primero que se observa es la falta de estudios y conocimiento de esta influencia en el deterioro de la matriz asfáltica fina.

Partiendo de un amplio conocimiento sobre la influencia de la humedad relativa en el comportamiento de las propiedades mecánicas de la matriz buscar contar con una técnica u opción para el mantenimiento de las rutas, para así tener una mayor duración y un mejor comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica para así llegar a un óptimo desenvolvimiento de nuestras carreteras extendiendo los lapsos de tiempos de mantenimiento.

También es importante que en este tipo de ensayo, nos ayudaría a entender si el porcentaje de vacíos que tiene la matriz asfáltica fina es determinante para el paso de la humedad, y a partir de los resultados obtenidos poder tener un mejor pavimento, tratando de mejorar la capacidad estructural de estos materiales, partiendo de un conocimiento de impermeabilización y prevención de evitar que exista un contacto del agua con la matriz asfáltica.

Será de gran ayuda económicamente para el mantenimiento de carreteras de nuestro departamento porque se bajan los costos partiendo de un conocimiento del problema empleado por la humedad relativa y el tiempo de contacto, evitando un gasto adicional de mantenimiento o reparación.

Se realizará esta investigación para poder observar y determinar el grado de influencia de la humedad relativa y si afecta en sus propiedades mecánicas de la matriz asfáltica fina; ver si deteriora la misma por la presencia de agua en un tiempo prologando, realizando ensayos en laboratorios.

Si llegara a buen resultado esta investigación se resolvería grandes problemas con el cumplimiento de la vida útil de la mezcla asfáltica porque se podría invertir en alguna prevención adecuada.

Sería de gran ayuda para nuestra facultad y en específico la carrera de Ingeniería Civil, así se enseñaría a futuros estudiantes el grado de influencia que tiene la humedad relativa en la matriz asfáltica fina aplicándose a los laboratorios de asfaltos y suelos de nuestra carrera.

Los resultados obtenidos podrán ser utilizados como parámetros básicos para realizar un estudio y entendimiento óptimo de esta influencia y poder tener una mejor visualización de la misma y evitar el deterioro rápido de la matriz asfáltica.

1.3. Diseño Teórico

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1. Situación Problemática

El problema planteado en el presente trabajo es que en la práctica dentro del mantenimiento de vías de comunicación es fundamental el conocimiento a tiempo de problemas que puedan suscitarse por agentes externos, para que se pueda realizar una prevención adecuada para que no exista un deterioro ascendente, sin embargo en contraposición no siempre es posible detectar oportunamente estos problemas que se suscitan en el proyecto vial, ante esas circunstancias que generan un problema en la matriz asfáltica.

Esta problemática parte, por la costosa y minuciosa identificación del problema que se llega a presentar en la matriz, ya que no es visible a simple vista y debemos llegar a experimentar en varios ensayos realizados en laboratorios, visualizando la deformación en su resistencia a la deformación que llega a producirse en la matriz asfáltica fina debido a la presencia y actividad de la humedad relativa.

También debemos ver el porcentaje de vacíos que contiene la matriz asfáltica fina que deja pasar la humedad por los mismos poros, dejando llegar a esta a zonas internas más profundas y que se pudieran evitar con alguna impermeabilización mecánica o química.

1.3.1.2. Problema

¿Se puede determinar el grado de influencia que tiene la humedad relativa en la matriz asfáltica fina, y será que es determinante en el proceso de deterioro de la mezcla asfáltica?

1.3.2. Objetivos

1.3.2.1. Objetivo General

- El objetivo del presente trabajo es cuantificar la influencia que tiene la humedad relativa en las propiedades mecánicas de la matriz asfáltica fina.

1.3.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar información de investigaciones realizadas, a objeto de tener un buen sustento técnico como base de la investigación.
- Establecer la secuencia adecuada de la investigación desde los materiales utilizados hasta el procedimiento adecuado de la investigación.
- Realizar los ensayos de caracterización del agregado pétreo y el asfalto que se utilizará en la elaboración de las briquetas.
- Diseñar las briquetas con dimensiones estándar para proceder un ensayo de ruptura en prensa Marshall.
- Determinar la incidencia que tiene el contenido de vacíos para el deterioro de la matriz asfáltica fina.
- Determinar la incidencia que tiene el tiempo de contacto entre la humedad relativa y la matriz asfáltica fina.
- Determinar las sales higroscópicas correctas utilizadas para controlar la humedad relativa, para obtención de resultados adecuados y acordes a la teoría investigada.
- Determinar la cantidad de agua que adquiere la muestra luego de estar en contacto con la humedad relativa.
- Determinar la influencia de la humedad relativa en las propiedades de estabilidad y de fluencia de la mezcla asfáltica.
- Realizar la gráfica para visualizar los resultados obtenidos con los diferentes porcentajes de humedad relativa.
- Interpretar y evaluar las conclusiones y recomendaciones de la investigación, en base a todos los resultados obtenidos.

1.3.3. Hipótesis

Que a un mayor tiempo de contacto de la humedad relativa con la matriz asfáltica fina se producirá un mayor cambio en sus propiedades mecánicas de la matriz asfáltica fina, entonces si controlamos la humedad relativa existente que está en contacto con la matriz asfáltica fina, disminuyendo el tiempo de contacto, entonces podremos evitar que exista una evolución progresiva de deterioro sobre la misma matriz asfáltica fina y por ende sobre la mezcla asfáltica fina.

1.3.4. Variables

Variables independientes:

- Humedad Relativa (57% y 80%)
- Tipo de asfalto convencional 85 – 100 bitumen
- Tiempo de contacto variable
- Porcentaje de vacios 4%

Variables dependientes

- Grado de saturación
- Resistencia de la matriz asfáltica a la carga diametral.
- Deformación producida por implementación de carga diametral.
- Humedad que adquiere la muestra.

1.4. Alcance

En el presente trabajo se realizará un estudio de investigación en laboratorio buscando determinar el grado de influencia que tiene la humedad relativa en las propiedades mecánicas de la matriz asfáltica fina, mediante un proceso regulado de vapor de agua usando agentes químicos, su alcance estará limitado a los siguientes puntos considerados necesarios y suficientes, para el cumplimiento a cabalidad de su objetivo:

Inicialmente el **Capítulo I** contiene una breve introducción de generalidades sobre "**LA INFLUENCIA DE HUMEDAD RELATIVA EN LA MATRIZ ASFÁLTICA FINA**",

dónde se define la problemática sobre la que se basa el presente trabajo, un marco teórico, su justificación, los objetivos que se desea alcanzar con la investigación realizada.

Posteriormente en el **Capítulo II** se menciona todo lo referente a las mezclas asfálticas, su clasificación, el procedimiento de obtención de las mezclas asfálticas finas, sus características y especialmente enfocándonos en la matriz asfáltica fina, los agentes que afectan al deterioro de la matriz asfáltica en especial la humedad relativa del lugar.

En el **Capítulo III** está el desarrollo experimental para lograr obtener el grado de **INFLUENCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA EN LA MATRIZ ASFÁLTICA FINA**, desde los materiales como el cemento asfáltico convencional 85 -100 bitumen, la caracterización del agregado y equipo a utilizar como la utilización de dos recipientes con tapa hermética para asilar la humedad relativa controlada con la humedad natural del ambiente, para acondicionar las muestras y posterior utilización de la prensa Marshall, el proceso de obtención de las 42 briquetas de muestra con un porcentaje de vacíos dado del 4% y que estarán regidas de acuerdo al manual de técnico para el diseño de carreteras específicamente en la caracterización de los materiales utilizados para la fabricación de la matriz asfáltica fina, también la utilización de sales higroscópicas (Nitrito de sodio, cloruro de sodio y cloruro de calcio) que producirán humedad relativa entre los rangos de 57% que es la humedad relativa anual de Tarija hasta llegar al 80% de la misma, el tiempo de contacto entre humedad relativa y la matriz asfáltica será variable, luego se procederá a la ruptura de estas briquetas en la prensa Marshall, para luego efectuar las gráficas de estabilidad, fluencia, humedad adquirida por la muestra con la humedad relativa, este será el proceso de la práctica y posterior obtención de los cálculos, análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

Finalmente en el **Capítulo IV** se expondrán las conclusiones que hemos llegado y que están función de la investigación y de los resultados obtenidos y se mencionara recomendaciones referentes la procedimiento de la práctica y al tema de investigación.

En conclusión el alcance del trabajo estará dirigido hacia la investigación de como la humedad relativa acelera el deterioro de la matriz asfáltica, mediante la elaboración de los capítulos respectivos dónde se establecerá en cada uno de ellos aspectos relevantes, los cuales permitirán llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

1.5. Diseño Metodológico

1.5.1. Unidad

Nuestra investigación forma parte de las mezclas asfálticas que es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes.

1.5.2. Población

Las mezclas asfálticas finas o morteros asfálticos; éstas son mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico.

1.5.3. Muestra

La matriz asfáltica fina está compuesta por una mezcla de ligante asfáltico con agregados finos (granulares que pasan el tamiz número 16 o 1.18 mm).

La matriz asfáltica fina para el procedimiento de la investigación se la realizará con materiales existentes en la planta de asfalto el Molino.

Se realizarán 42 muestras de matriz asfáltica fina con un porcentaje de vacíos definido de 4 %

1.5.4. Método

El método es experimental dónde se determinará la influencia que produce la humedad relativa en la matriz asfáltica fina y los posibles efectos.

En el experimento tratamos de ver el efecto que se llega a producir cuando alteramos la humedad relativa y el tiempo de contacto existente entre la humedad relativa con la matriz asfáltica fina con relación al grado de saturación, su resistencia de la matriz asfáltica fina a la deformación plástica y la carga de ruptura, en una saturación controlada.

Por lo tanto para este experimento es necesario tener diversas pruebas de las muestras en laboratorio que nos permitan obtener resultados que posteriormente serán analizados en función de que si podemos controlar la humedad relativa existente que está en contacto con la matriz asfáltica fina, tratando de disminuir el efecto de contacto y si se puede llegar a evitar el deterioro progresivo en una matriz asfáltica fina.

Para esto tenemos técnicas de apoyo como son las bibliográficas, de observación y experimentales.

1.5.5. Análisis Estadístico.

Para la obtención de los cálculos que se requieren mostrar en la investigación nos ayudamos de fórmulas estadísticas como:

Media aritmética

Que en un conjunto finito de números, es el valor característico de una serie de datos cuantitativos que son objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, es decir: es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{N}$$

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

Dónde:

X = Valor de la media aritmética

X_1, X_2, X_3 = Valores de muestras obtenidas.

N = Número de muestras.

Desviación Estándar.

También se utilizará la desviación estándar que es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución. De hecho, específicamente, el cuadrado de la desviación estándar es “el promedio del cuadrado de la distancia de cada punto respecto del promedio”

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n xi - x^2}{n - 1}$$

Dónde:

xi = Valor de cada muestra de observación

$\bar{x}$ = Valor de la media aritmética

n = Número de muestras

Luego se procede a graficar los resultados correspondientes a los cálculos obtenidos que estarán en función de la humedad relativa y la influencia que tiene esta en la estabilidad, densidad y fluencia de la matriz asfáltica fina.

Ajuste de gráficas a Regresiones Estadísticas

En estadística, el análisis de la regresión es un proceso estadístico para la estimación de relaciones entre variables. Incluye muchas técnicas para el modelado y análisis de diversas variables, cuando la atención se centra en la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Más específicamente, el análisis de regresión ayuda a entender cómo el valor típico de la variable dependiente cambia cuando cualquiera de las variables independientes es variada, mientras que se mantienen las otras variables independientes fijas.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. Introducción

El uso moderno de asfaltos para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos. Hoy día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados.

Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción es la siguiente: un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo. Ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes.

El pavimento de concreto asfáltico es el pavimento de mejor calidad. Está compuesto de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuales son calentados y mezclados en proporciones exactas en una planta de mezclado en caliente. Después de que las partículas del agregado son revestidas uniformemente, la mezcla en caliente se lleva al lugar de la construcción, donde el equipo de asfaltado la coloca sobre la base que ha sido previamente preparada. Antes de que la mezcla se enfríe, las compactadoras proceden a compactarla para lograr la densidad especificada. A medida que se enfría, el asfalto se endurece y recupera las propiedades ligantes que hacen de él un material vial eficaz.

Cuando el asfalto es mecánicamente separado en partículas microscópicas y es dispersado en agua con un agente emulsivo, se convierte en emulsión asfáltica. Las pequeñísimas gotas de asfalto se mantienen uniformemente dispersas en la emulsión hasta el momento en que ésta es utilizada. En el estado de emulsión, las moléculas del agente emulsivo se orientan rodeando a las gotitas de asfalto. La naturaleza química del sistema emulsivo/asfalto/agua determina la características de la dispersión y la estabilidad de la suspensión. Cuando se utilizan las emulsiones en obra, el agua se evapora hacia la atmósfera, quedando el agente emulsivo retenido en el asfalto.

La industria de pavimentos asfálticos está presenciando muchos cambios. En años recientes, la tecnología de emulsiones asfálticas ha sido innovadora en la tarea de enfrentar los desafíos del creciente tráfico, los presupuestos cada vez más reducidos y de preocupaciones ambientales. Una clara comprensión del “por qué y cómo” de emulsiones asfálticas es promesa de uso eficiente. El empleo adecuado de emulsiones asfálticas puede resultar en pavimentos de alta performance y en sistemas de mantenimiento económicos pero versátiles.

Es finalidad de este estudio demostrar que las emulsiones asfálticas son una nueva alternativa eficaz para la construcción y rehabilitación de vías debido a las ventajas económicas, ambientales y de seguridad que estas presentan.

2.2. Asfalto

El asfalto, también denominado betún, es un material viscoso, pegajoso y de color negro. Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos y como revestimiento impermeabilizante de muros y tejados.

En las mezclas asfálticas es usado como aglomerante para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de betún bitumen. El asfalto es una sustancia que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo.

Como el asfalto es un material muy impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

2.2.1.1. Origen del asfalto

La palabra Asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C. En esta zona se encuentra en efecto la palabra "Sphalto" que significa "lo que hace caer". Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó al latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C. Excavaciones efectuadas en TellAsmer, a 80 km al noreste de Bagdad, permitieron constatar que los sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción. Dicho mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos o mampuestos, en la realización de pavimentos interiores (de 3 a 6 cm de espesor), para tratamientos superficiales externos de protección y como revestimiento impermeable en los baños públicos.

Es así como en la Biblia, también se menciona en varias oportunidades su uso a propósito del Arca de Noé, de la Torre de Babel, de la Cuna de Moisés, de las Murallas de Jericó, etc. Numerosas citaciones figuran en casi todos los libros griegos o Latinos, que según los casos, describen los yacimientos de betún natural o de asfalto, la fabricación del alquitrán de madera, los diversos usos o curiosas propiedades de este producto.

Los árabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época. Se utiliza para el tratamiento de enfermedades a la piel y como desinfectante tópico. Dada las propiedades combustibles que presentan los ligantes hidrocarbonados, es que en la antigüedad se utilizaban con fines bélicos o destructivos. Por último, cabe destacar el papel desempeñado por los ligantes hidrocarbonados en el calafateo y protección de los cascos de las embarcaciones.

El betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la Isla de Trinidad, por Cristóbal Colón. Un siglo más tarde, Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este Lago de Betún y tomó posesión de él para la Corona Británica.

En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París. En 1852, la construcción de la carretera Paris-Perpiñán utilizó el asfalto de Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres y en 1870 en los Estados Unidos con similar ligante. Desde esta época, el "asfalto" se implantó sólidamente en las vías urbanas y propició significativamente su uso vial.

La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado. En 1900 aparece la primera mezcla asfáltica en caliente, utilizada en la rue du Louvre y en la Avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la Isla de Trinidad.

A partir del año 1902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento.

La aparición y desarrollo de la circulación automovilística en las carreteras de aquel entonces de macadam a base de agua provocaban grandes nubarrones de polvo, ello dio origen a los tratamientos superficiales a base de emulsiones en el año 1903, con objeto de enfrentar dicho inconveniente. En 1909 en Versalles, sobre el firme de una carretera con un tráfico diario de 5000 vehículos, se construyó una capa de aglomerado bituminoso de 5 cm de espesor. Así pues, en los albores del siglo XX, ya existían los principales componentes de la técnica de revestimientos bituminosos. Su desarrollo y perfeccionamiento, es tarea que incumbe a los profesionales del asfalto del siglo XX.

2.2.1.2. Fuentes del asfalto

El asfalto que se utilizó en épocas pasadas fue el asfalto natural; el cual se encuentra en la naturaleza en forma de yacimientos que pueden explotarse sin dificultad y cuyo empleo no requiere de operaciones industriales de ningún tipo para su preparación. Estos yacimientos se han producido a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles dejando las asfálticas. A este asfalto se le llama frecuentemente asfalto de lago. Los yacimientos más importantes de asfaltos naturales se encuentran en los lagos

de Trinidad, en la isla de Trinidad en la costa norte de Venezuela. Casi siempre se encuentran en las rocas asfálticas, que son rocas porosas saturadas de asfalto.

Sin embargo, se puede obtener artificialmente como producto de la refinación, dónde las cantidades de asfalto residual varían según las características del crudo; pudiendo oscilar entre el 10 y el 70%. Este asfalto se produce en una variedad de tipos y grados que van desde sólidos duros y quebradizos a líquidos casi tan fluidos como el agua. La forma semisólida conocida como betún asfáltico es el material básico.

Los productos asfálticos líquidos se preparan, generalmente, diluyendo o mezclando los betunes asfálticos con destilados del petróleo o emulsificándolos con agua.

Actualmente más del 90% de los asfaltos utilizados como ligantes en las mezclas asfálticas son producidos por la destilación fraccionada del crudo.

Este proceso de destilación fraccionada o refinación del crudo comienza con su llegada en tanques cilíndricos, desde dónde es bombeado a las unidades de destilación primaria, después de la deshidratación y desalación. El petróleo se hace circular por el interior de un horno alcanzando elevadas temperaturas, donde se vaporiza parcialmente para luego pasar a la torre atmosférica, en la cual, por diferencia de temperaturas de condensación (punto inicial y punto final), se obtiene las fracciones más livianas, como los gases de cima, la nafta, el JP-A (combustible para avión), el queroseno y el gasóleo atmosférico. Los elementos más volátiles alcanzan los niveles más altos de las torres y los más pesados no logran ascender. El crudo residual constituido por los componentes más pesados del petróleo y que no se lograron vaporizar a estas condiciones de presión y temperatura, pasan a una destilación al vacío dónde se recuperan los gasóleos de vacío. En el fondo de la torre de vacío, se obtienen los residuos finales de esta destilación; que se conoce con el nombre de fondos de vacío.

Si las características del crudo de alimentación son adecuadas, estos fondos de vacío son empleados directamente como asfalto para pavimentación; en caso contrario, el fondo es sometido a otros procesos. Se somete a tratamiento con disolventes de desasfaltado donde se extraen un poco más de gasóleos. También se puede someter al soplado con aire u

oxidado, cuando es necesario deshidrogenar e incrementar la viscosidad del residuo con el fin de cumplir con unas especificaciones dadas.

2.2.2. Propiedades físicas y químicas del asfalto

Antes que el intercambio de crudo, en el mercado, fuera algo corriente; las refinerías rara vez cambiaban sus fuentes de abastecimiento de crudo. Esto llevó a que las fuentes de asfalto tuvieran, también, propiedades consistentes. Al integrarse 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, salió la necesidad de poderse evaluar el comportamiento del asfalto ante condiciones particulares y predecir su rendimiento en términos de conocidas formas de esfuerzo. Aun así, algunas propiedades físicas y químicas siguen siendo constantes en todos los tipos de asfaltos.

- **Propiedades físicas:** El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se le combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.
- **Composición química:** 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.

La mayoría de los hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación, quedando los más pesados y de moléculas complejas. Al eliminar los hidrocarburos más ligeros de un crudo, los más pesados no pueden mantenerse en disolución y se van uniendo por absorción a las partículas coloidales ya existentes, aumentando su volumen dependiendo de la destilación que se les dé. Las moléculas más livianas constituyen el

medio dispersante o fase continua. Los hidrocarburos constituyentes del asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de los hidrocarburos más pesados(asfaltenos) están rodeados por moléculas de hidrocarburos más ligeros(resinas), sin que exista una separación entre ellas, sino una transición, finalmente, ocupando el espacio restante los aceites.

Un concepto más amplio sobre la constitución es que el asfalto consta de tres componentes mayoritarios. El primero se describe como una mezcla de asfaltenos 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 como el explicado anteriormente. Los asfaltenos 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.

Los asfaltos contienen fracciones bituminosas¹ insolubles en parafinas.

Como ya se dijo, cerca del 90 al 95% del peso del asfalto está compuesto por carbono e hidrógeno, o lo que se había denominado como hidrocarburos. La porción restante consiste de dos tipos de átomos; metálicos o diatómicos. Las moléculas diatómicas, como el oxígeno, nitrógeno o azufre, muchas veces reemplazan a los átomos de carbón en la estructura molecular del asfalto. Esto contribuye a muchas de las singulares propiedades químicas y físicas de los asfaltos; causando mucha de la interacción entre las moléculas. El tipo y cantidad de moléculas diatómicas que existan en el asfalto se deberá tanto a la fuente de crudo como a la edad de éste. Las moléculas como el azufre, reaccionan más fácilmente que el carbón y el hidrógeno para incorporar oxígeno. La oxidación es la parte primaria, en el contexto del proceso de envejecimiento, la evaporación o volatilización y degradación asociados con la foto degradación por la luz también contribuyen.

Los átomos metálicos, como el níquel, el vanadio o el hierro están presentes muy levemente, casi menos de un 1%. La significancia de la presencia de los metales es que actúan como huella digital de la fuente de crudo de la que proviene el asfalto.

Los componentes del asfalto pueden ser separados y evaluados usando la solubilidad de sus moléculas en diferentes disolventes. Los métodos más usados son el método cromatográfico de Corbett (el usado por la ASTM) y el método de precipitación de Rostler.

Las fracciones genéricas determinadas en estos métodos son mezclas complejas con propiedades variables y no son especies químicas discretas.

La estructura molecular del asfalto es extremadamente compleja y varía en tamaño y tipo de enlace químico con cada fuente o mezcla. Hay tres tipos básicos de moléculas: cíclicas, acíclicas y aromáticas. Los acíclicos o parafínicos son lineales, en tres dimensiones, en forma de cadena y son grasos por naturaleza. Los cíclicos o nafténicos, son anillos de carbono saturados, tridimensionales. Los aromáticos son planos, anillos estables de carbono que se agrupan fácilmente y tienen un fuerte olor. Todos estos tipos interactúan para manejar el comportamiento físico-químico del asfalto.

Los enlaces sosteniendo juntas las moléculas son débiles por lo que se rompen fácilmente con calor o presión; lo que explica la viscosidad del asfalto.

En el asfalto, las moléculas polares forman redes dándole a éste sus propiedades elásticas, y las no polares forman el cuerpo alrededor de la red contribuyendo con sus propiedades viscosas. Estas moléculas, polares y no polares, existen de forma homogénea. La formación de la red polar en la mezcla caliente del asfalto depende del tipo de agregado mineral o del medio ambiente al momento de la mezcla. La mezcla homogénea polar-no polar es esencial para el buen desenvolvimiento del asfalto.

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.

2.2.2.1. Solubilidad:

El asfalto es soluble en una gran cantidad de hidrocarburos. Se toma ventaja de esto para producir los asfaltos líquidos rebajados. Desafortunadamente esta solubilidad permanece cuando el asfalto ya está en uso en el pavimento; sin embargo, en carreteras no causa mucho problema porque la gasolina es muy volátil que no tiene tiempo para disolver el asfalto del pavimento. Los derrames de combustible de avión si pueden producir daños a las aeropistas porque son combustible de tipo keroseno. Entonces en estacionamientos si se pueden esperar por derrames de combustibles.

Para minimizar este problema en lugares que pueden estar sometidos a derrames perjudiciales se pueden utilizar concretos asfálticos modificados con polímeros o alquitrán o concreto hidráulico.

2.2.2.2. Reactividad:

El asfalto es un material relativamente inerte con respecto a una cantidad considerable de sustancias químicas, por eso se utilizan mucho en recubrimientos protectores. Una de las características del asfalto es su reactividad con el oxígeno. Esta reactividad se puede dar de tres maneras:

A. A altas temperaturas

El oxígeno del aire reacciona con el hidrógeno de los hidrocarburos del asfalto formando moléculas de agua que se pierden a la atmósfera por evaporación. Esto es lo que ocurre en el proceso de soplado con aire para fabricar asfaltos para techado y también se da durante el mezclado de asfalto con agregados.

B. A temperatura ambiente en ausencia de la luz solar

El oxígeno del aire reacciona con los hidrocarburos formando óxidos en la superficie del asfalto que produce una película o una costra impermeable que evita que más asfalto se siga oxidando. Sólo cuando esfuerzos mecánicos produzcan agrietamientos en esa costra se vuelve a oxidar más asfalto, pero de nuevo se forma la costra impermeable.

C. A temperatura ambiente en presencia de la luz solar

El oxígeno del aire reacciona con los hidrocarburos del asfalto formando óxidos, muchos de los cuales son solubles en agua, por lo que el agua los arrastra exponiendo continuamente más asfalto a seguirse oxidando. La forma de mitigar este problema es aplicando periódicamente sellos ya sea de agregados o de algún otro material.

Los asfaltos resisten los ataques del ácido sulfúrico diluido y del ácido clorhídrico en todas sus concentraciones. Sin embargo es atacado por el ácido sulfúrico concentrado y por el ácido nítrico. Generalmente el asfalto no es atacado por los álcalis, sin embargo, algunas

soluciones alcalinas diluidas reaccionan con ciertos constituyentes del asfalto formando agentes emulsificadores que pueden ser dañinos.

2.2.2.3. Viscosidad

Cuando el asfalto es calentado a una temperatura lo suficientemente alta, por encima de su punto de inflamación, este comienza a fluidificarse, a veces como un fluido Newtoniano y sus propiedades mecánicas pueden definirse por su viscosidad. A temperaturas más bajas, el asfalto es un sólido visco-elástico, sus propiedades mecánicas son más complejas y se describen por su módulo de visco-elasticidad, conocido como el módulo de stiffness.

La viscosidad de un asfalto es usualmente medida en un viscosímetro capilar en una manera similar a la que se miden los aceites lubricantes. Este método mide la viscosidad cinemática que se reporta en centistokes (cst). La dinámica o absoluta se mide en centipoises (cp) y puede obtenerse de la cinemática multiplicándola por la densidad a esa temperatura determinada.

2.3. Agregados en mezcla asfáltica

Existen tres elementos importantes que deben considerarse al establecer el tipo o clase de pavimento bituminoso:

- a) Los tipos de graduación de los agregados pétreos.
- b) El tipo de material aglutinante.
- c) El proceso constructivo.

Estos tres elementos son independientes y cualquiera de ellos influirá en la selección de los otros dos. Hay quienes clasifican las mezclas asfálticas por la graduación de sus agregados pétreos que puede ser abierta o densa, gruesa o fina, continuas y discontinuas y entre otras, otros clasifican por el tipo de material asfáltico y finalmente algunos clasifican por el procedimiento constructivo a ejecutar.

Los agregados constituyen del 88 al 96% del peso de un pavimento bituminoso y algo más del 75 % del volumen del mismo. Contribuyen a la estabilidad mecánica, soportan la carga del tráfico y al mismo tiempo transmiten la carga a la subbase a una unidad de presión

considerablemente reducida. Estos materiales deben ser de una calidad uniforme, triturados a tamaño según sea necesario, deben estar compuestos por piedras sólidas y duraderas o fragmentos de roca o escoria, con o sin arena u otro agregado mineral inerte y cuidadosamente dividido. Todo el material debe estar libre de arcilla, materia orgánica y otras sustancias perjudiciales que afecten la estabilidad del pavimento. El exceso de material fino debe separarse antes de ser triturado.

Por lo que los materiales pétreos son parte indispensable de la composición de una mezcla asfáltica.

2.3.1. Clasificación de los agregados para mezclas asfálticas

Tiene una variada clasificación agrupándose en cuatro grupos.

2.3.1.1. Agregados según su naturaleza

Como es conocido la gran variedad de rocas existentes están divididas en tres grandes grupos genéticos:

- Roca Ígneas: Compactados duros y muy resistentes.
- Rocas Sedimentarias: Abundantes, baratos y fácilmente pulibles.
- Rocas Metamórficas: Lajosos, alterados y poco utilizables

A su vez de estos existen subgrupos, familias y series minerales que agrupan materiales de composición afín.

La idoneidad de un determinado árido depende principalmente de una serie de factores relacionados con las características intrínsecas de la propia roca, aunque pueden influir de manera notable aspectos como su correcta fabricación, transporte y puesta en obra.

De cara al análisis para su empleo en carreteras, resulta práctico establecer grupos que reúnan materiales de parecida composición mineralógica y estructura interna, lo que asegura una cierta homogeneidad en el comportamiento de los áridos empleados en carreteras, su características genéricas y las rocas más representativas de cada grupo:

Cuadro N° 1. Clasificación de rocas según su naturaleza

CLASE/Grupo			Propiedades	Ejemplos
Ígneas	Básicos	Basaltos	_Rocas máficas (oscuras) _Alta resistencia mecánica _Bajo desgaste al pulido _Buena adhesividad.	Basalto, andesita, diabasa, ofita, lamprófido y traquita.
		Gabros	_ Buen comportamiento mecánico en carreteras _ Durables y resistentes _Relativa escasez, zonificadas.	Gabro, diorita, gneis básico, peridotita y sienita.
	Ácidos	Granitos	_Abundantes en la península _Pueden presentarse alteradas. _Rocas abrasivas, poco pulibles _Escasa adhesividad a los ligantes _Presentan cierta fragilidad	Granito, Cuarzodiorita, gneis, aplita granodiorita y pegmatita
		Pórfidos	_Textura adecuada para firmes _Bajo desgaste al pulimento _Problemas de adhesividad	Pórfidos, diacita y riolita
Sedimentarias	Básicos	Calizas	_Muy abundantes en España Muy susceptibles al pulido _Buena adhesividad _Fácil extracción y tratamiento	Caliza, dolomia y mármoles
		Areniscas	_Muy resistentes al pulimento _Presentan un elevado	Arenisca, arcosa, molasa, grauvaca,

			desgaste _Buena adherencia a ligantes _Muy escasos en la península	tobas y conglomerados
	Ácidos	Pedernal	_Muy duras y quebradizas _Buena resistencia al desgaste _Dan áridos lajosos y cortantes _Muy susceptible al pulimento	Pedernal, sílex, comubianita y ftanita
		Cuarcitas	_Muy duras y resistentes _Difícil extracción y machaqueo _Pueden presentar alteraciones _Escasísima adhesividad	Cuarcita, cuarzo arenita y cuarzo
Metamórficas		Esquistos	_Formas lajosas y alteradas _Elevado peso específico _Válidos si no contienen mica	Esquistos filitas y pizarras
Industriales		Materiales artificiales	_Tratados industrialmente _Características específicas que complementan al árido natural _Potencian ciertas propiedades	Escorias de alto horno, firmes reciclados y cenizas volcánicas

Autor: Luis Bañón Blázquez

2.3.1.2. Agregados según su origen

Existen diferentes formas de obtener materias primas para la construcción de carreteras, pudiendo establecerse una clasificación de los áridos en función de su lugar de procedencia:

- a) **Áridos Naturales:** Dentro de este grupo se engloban aquellos áridos que se encuentran ya machacados, pudiendo ser directamente empleados tal como se encuentran en la naturaleza, únicamente es necesario someterlos a un proceso de selección, refinado y clasificación por tamaños. Se hallan en graveras, canteras y otro tipo de yacimiento al aire libre, por lo que su extracción es relativamente sencilla.
- b) **Áridos artificiales o de machacado:** Obtenidos a partir de la disgregación de un macizo rocoso, empleado generalmente procedimientos de voladura con explosivos. Necesitan un mayor tratamiento que los anteriores, por lo que es necesario procesarlos en plantas de machaqueo, en ellas, el material es limpiado, machacado, calificado y almacenado en acopios.
- c) **Productos sintéticos industriales:** Este grupo lo componen materiales de diversa índole, como productos de desecho o sub productos de procesos industriales, materiales calcinados, procedentes de la demolición y reciclado de firmes existentes o áridos manufacturados con características mejoradas.

2.3.1.3. Agregados según su tamaño

Los productos obtenidos a lo largo del proceso de extracción y tratamiento de áridos son separados y clasificados por tamaños para su posterior dosificación, mezcla y empleo en las diferentes capas del firme. Se distinguen tres grandes grupos de áridos en función de granulometría y propiedades generales:

- a) **Áridos gruesos:** Están compuestos fundamentalmente por gravas. Este tipo de áridos presentan tamaños comprendidos entre 60 y 5 mm y conforman el esqueleto mineral en cualquier tipo de zahorra o mezcla bituminosa.
- b) **Áridos finos:** Se corresponden con las arenas, por lo que se excluyen aquellas partículas que no atraviesen el tamiz de 5 mm de la serie UNE. Generalmente se emplean como recebo del árido grueso, de forma que ocupen los huecos existentes, para hacer la mezcla más compacta.
- c) **Filler o rellenador:** Se define como la fracción mineral que pasa por el tamiz 0.080 UNE; esta especie de polvillo fino se obtiene como un producto residual procedente del lavado de los áridos machacados. Dada su gran superficie específica, desempeña un papel

fundamental en las mezclas bituminosas, mejorando en ciertos casos sus propiedades reológicas.

2.3.1.4. Agregado según su adhesividad

Se clasifican de acuerdo a su adhesividad del material pétreo con los ligantes asfálticos y se dividen en dos grupos entre los que encontramos:

- a) **Los ácidos:** Son de mala adhesividad y entre ellos tenemos los silíceos, hidrófilos.
- b) **Los básicos:** Son de buena adhesividad y entre los que tenemos los alcalinos, hidrófobos.

2.4. Mezclas Asfálticas

2.4.1. 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 éste. 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).

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

Las mezclas asfálticas 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.

2.4.2. Propiedades que deben cumplir las mezclas asfálticas en los pavimentos

Las mezclas asfálticas tienen que cumplir los siguientes criterios para ser utilizables en firmes:

- Resistentes a las cargas del tráfico (tanto a la abrasión, como al asentamiento vertical, como al despegue por los neumáticos)
- Impermeable, ya que si el agua penetra por debajo del firme se filtrará al cimiento de la carretera, desestabilizándolo.
- Debe poderse trabajar con facilidad y su puesta en obra factible.

2.4.3. Funcionalidad de las mezclas asfálticas en firmes

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

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

Las cualidades funcionales del firme residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

1. La adherencia del neumático al firme.
2. Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
3. El desgaste de los neumáticos.

4. El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
5. La comodidad y estabilidad en marcha.
6. Las cargas dinámicas del tráfico.
7. La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
8. El envejecimiento de los vehículos.
9. Las propiedades ópticas.

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

Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente asequibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos.

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

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

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

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

2.4.4. Propiedades de las mezclas asfálticas para las capas de rodadura

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

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario. Por ejemplo, en los países fríos, en particular en el centro de Europa, se han desarrollado mezclas muy impermeables y ricas en mortero. Si estas mezclas no proporcionan la textura adecuada, se recurre a procedimientos ajenos a la propia mezcla como son la incrustación en la superficie de gravillas o al abujardado en caliente.

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

2.4.5. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas inferiores

Las capas de espesor apreciable de un firme tienen una misión estructural fundamental para absorber la mayor parte de las solicitaciones del tráfico, de forma que éstas lleguen convenientemente disminuidas a las capas inferiores, explanada o cimiento de la carretera.

Existen tendencias y países que llegan a utilizar paquetes asfálticos de gran espesor que forman la losa estructural fundamental del firme. En otros casos la función resistente radica en la colaboración con otras capas de materiales granulares o hidráulicos.

La tendencia española tradicional para el diseño de las mezclas de las capas gruesas de base ha sido la de elegir granulometrías inspiradas en el Instituto del Asfalto, con muchos huecos. Las mezclas anteriores son netamente abiertas con un esqueleto mineral, en cuyo

rozamiento interno radica la función resistente. Estas mezclas se podían considerar inspiradas en las antiguas bases de piedra partida o Macadam tratadas por penetración con ligantes hidrocarbonados.

2.5. Clasificación de mezclas asfálticas.

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

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

b) Por la Temperatura de puesta en obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.
- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

c) 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.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.

- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: También llamadas morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

e) Por la Estructura del agregado pétreo.

- Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

f) Por la Granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

2.6. Mezclas asfálticas finas

Las mezclas asfálticas finas, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas que están formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico.

El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

2.7. Matriz asfáltica fina.

Una matriz asfáltica fina (FAM) está compuesta por una mezcla de ligante asfáltico con agregados finos granulares que pasan el tamiz número 16 (1.18 mm).

El diseño de estas mezclas debe estar sujeto al diseño de la mezcla asfáltica completa para que efectivamente represente su matriz fina.

2.8. Diferencia existente entre la matriz asfáltica fina y la matriz asfáltica gruesa

La diferencia existente entre matriz asfáltica gruesa y la matriz asfáltica fina es que la matriz asfáltica gruesa es la combinación de material granular grueso que no pasa el tamiz Nº 16 con ligante asfáltico y la matriz asfáltica fina es la combinación de agregado fino que pasa el tamiz Nº 16 con ligante asfáltico.

2.9. Humedad del aire

La humedad del aire se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. El vapor procede de la evaporación de los mares y océanos, de los ríos, los lagos, las plantas y otros seres vivos. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura. El aire caliente admite más vapor de agua que el aire frío.

Una forma de medir la humedad atmosférica es mediante el higrómetro.

El vapor de agua tiene una densidad menor que el aire, luego el aire húmedo (mezcla de aire y vapor) es menos denso que el aire seco. Además, las sustancias, al calentarse, dilatan, luego tienen menor densidad. El aire caliente que contiene vapor de agua se eleva en la atmósfera. La temperatura de la atmósfera disminuye una media de 0,6 °C cada 100 m en adiabática húmeda, y 1,0 °C, en adiabática seca. Al llegar a zonas más frías el vapor de agua se condensa y forma las nubes (de gotas de agua o cristales de hielo). Cuando estas

gotas de agua o cristales de hielo pesan demasiado caen y originan las precipitaciones en forma de lluvia o nieve.

Evaluación de la humedad del aire ambiente

Hay varios modos de estimar la cantidad de vapor en el aire ambiente, cada una de ellas con aplicación en una ciencia o técnica específica. Son:

2.9.1. Humedad absoluta

La humedad absoluta es la masa total de vapor de agua existente en el aire por unidad de volumen, y se expresa en gramos por metro cúbico de aire. La humedad atmosférica terrestre presenta grandes fluctuaciones temporales y espaciales.

El cálculo es:

$$AH = \frac{m_w}{v_a}$$

2.9.2. Humedad específica

La humedad específica mide la masa de agua que se encuentra en estado gaseoso en un kilogramo de aire húmedo, y se expresa en gramos por kilogramo de aire (g/kg).

La razón de mezcla o relación de mezcla, es la cantidad de vapor de agua contenido en el aire medido en gramos de vapor por kilogramo de aire seco (g/kg). En la práctica es muy semejante a la humedad específica, pero en ciertas aplicaciones científicas es muy importante la distinción.

2.9.3. Humedad relativa

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.

La humedad del aire es un factor que sirve para evaluar la comodidad térmica del cuerpo vivo que se mueve en cierto ambiente. Sirve para evaluar la capacidad del aire para evaporar la humedad de la piel, debida a la transpiración fundamentalmente. También es importante, tanto la del aire, como la de la tierra, para el desarrollo de las plantas.

El vapor de agua tiene una densidad menor que el aire, luego el aire húmedo (mezcla de aire y vapor) es menos denso que el aire seco. Además, las sustancias, al calentarse, dilatan, luego tienen menor densidad. El aire caliente que contiene vapor de agua se eleva en la atmósfera. La temperatura de la atmósfera disminuye una media de 0,6 °C cada 100 m. Al llegar a zonas más frías el vapor de agua se condensa y forma las nubes (de gotas de agua o cristales de hielo). Cuando estas gotas de agua o cristales de hielo pesan demasiado caen y originan las precipitaciones en forma de lluvia o nieve.

La humedad relativa de una masa de aire es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene y la que tendría si estuviera completamente saturada; así cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100% más húmedo está.

Se calcula así:

$$HR = \frac{PH_2O}{P^H_2O} * 100$$

Dónde:

HR = es la humedad relativa de la mezcla de aire (%).

PH_2O = es la presión parcial de vapor de agua en la mezcla de aire (Pa).

P^H_2O = es la presión de saturación de agua a la temperatura de la mezcla de aire (Pa).

2.9.4. Presión parcial del vapor de agua

La presión parcial del vapor de agua es la parte de la presión atmosférica total ejercida por el vapor de agua contenido en la atmósfera. Se expresa en unidades de presión, milibares o cm o mm de mercurio.

El comportamiento de la mezcla de aire seco y vapor de agua sigue la ley de Dalton de las presiones parciales, de acuerdo a sus respectivas propiedades. (La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de sus componentes. $P_t = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$ y la presión parcial es la presión que ejercería cada componente en las mismas condiciones del sistema).

2.9.5. Presión de saturación

Cuando el aire está saturado de vapor de agua, la presión parcial del vapor recibe el nombre de presión de saturación, el cual depende de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que admite. A temperaturas bajas

puede almacenar menos vapor de agua. Cuando una masa de aire caliente se enfría se desprende del vapor que le sobra en forma de rocío o de precipitación.

2.9.6. Punto de rocío

Cuando la humedad relativa alcanza el valor 100% se producen fenómenos de condensación. Un ejemplo de ello es el rocío, que se debe a que, cuando la humedad relativa del aire ha alcanzado el 100%, el aire no admite más agua, por lo que el sobrante, condensa en forma líquida en superficies de los objetos, hojas, flores, etc.

Esto se produce cuando la temperatura desciende hasta el punto de rocío; lo normal es que se mantenga la cantidad de agua del ambiente constante y, si disminuye la temperatura, la humedad relativa va aumentando hasta que llega un momento en que se alcanza el 100%. Si sigue bajando la temperatura, el exceso de humedad (lo que supera el 100%) condensa en agua líquida. Por ejemplo: el aire a 24 °C con un 50% de humedad relativa, contiene unos 9 g de vapor por kilogramo de aire seco; si la temperatura del aire baja hasta los 13 °C, llegará al 100% y, en ese momento empezará a condensar. Si esto ocurre en el exterior, se formará rocío; en un local cerrado puede ocurrir en un lugar determinado, como en el vidrio de una ventana que tenga la temperatura de rocío y se condensará el agua en él.

El rocío, en el exterior, se puede producir tanto en invierno como en verano (en este caso en climas continentales, en los que hay gran contraste de temperaturas entre el día y la noche). Cuando este fenómeno ocurre en invierno, con temperaturas por debajo de 0°C, la helada convierte el rocío en escarcha.

2.9.7. Humedad Natural.

La humedad natural es una relación gravimétrica definida como la relación existente entre el peso del agua y el peso de los sólidos en un volumen dado de suelo.

$$HN = \frac{W_w}{W_s}$$

En la mayoría de los casos, la humedad natural es expresada en porcentaje.

La humedad natural es una propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen.

2.9.8. Humedad Higroscópica.

Es aquella que aparece cuando, por medio del agua que las transporta, se introducen sales en el suelo o en el material constructivo.

Dichas sales tienen la propiedad de absorber el agua de la humedad aérea en forma cristalizada y emparar el suelo o material de construcción.

Estas sales son sulfatos, cloruros o nitratos, que actúan nocivamente sobre la construcción, ya que cristalizan en la superficie del material constructivo y pueden destruirlo mediante la llamada presión de cristalización.

2.10. Características de los materiales utilizados en las briquetas

2.10.1. Requisitos del agregado pétreo

Tabla 1. Requisitos de granulometría del material pétreo para Matriz Asfáltica Fina

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
1.18	Nº 16	100
0.60	Nº 30	43 – 72
0.43	Nº 40	26 – 53
0.18	Nº 80	17 – 41
0.15	Nº 100	10 – 30

0.075	Nº 200	5 – 15
-------	--------	--------

Estados Unidos Mexicanos

Tabla 2. Requisitos de calidad del material pétreo para matriz Asfáltica Fina

Características	Valor
Desgaste por abrasión en húmedo, % máximo	10
Equivalente de arena %, mínimo	50
Perdida por inmersión en agua, % máximo	25

Estados Unidos Mexicanos

2.10.2. Ensayos del agregado pétreo

2.10.2.1. Método para determinar la granulometría del agregado

OBJETO

El método tiene por objeto el análisis, por medio de tamices, del agregado empleado en la construcción de briquetas de matriz asfáltica fina.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Balanza

Una balanza con precisión de 0,1 g.

2. Tamices

Los Tamices empleados serán los correspondientes a 1.18 mm (Nº16) 0.6 mm (Nº 30), 0.43mm (Nº40), 0.18 mm (Nº80), 0.15 mm (Nº100) y 0.075 mm (Nº 200).

3. Horno

El horno será capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS

La muestra para este ensayo se obtiene por cuarteo o mediante una saca muestras a fin de lograr una muestra representativa del material por ensayar. Se necesitan alrededor de 500 g de material seco para el ensayo.

4 SECADO DE LA MUESTRA

La muestra se debe secar hasta que tenga un peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

PROCEDIMIENTO

Después de secar y pesar, coloque la muestra sobre el tamiz 1.18, previamente montado sobre los tamices 0.6, 0.43, 0.18, 0.15 y 0.075. El material debe lavarse mediante un chorro de agua; el lavado continúa hasta que el agua emerja clara. Seque el residuo en cada tamiz hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. El peso del material retenido en cada tamiz se refiere como porcentaje de la muestra original.

Informe el resultado del análisis granulométrico como el porcentaje total que pasa cada tamiz, aproximando al 0,5%.

2.10.2.2. **Peso específico relativo**

La realización de los laboratorios es la parte del curso de Mecánica de Suelos, que sirve para confirmar los conceptos teóricos desarrollados en clase, con el comportamiento real de los fenómenos físicos; para luego aplicar con confianza los conceptos teóricos en el estudio.

El peso específico relativo es una característica de líquidos y de los sólidos. En esta práctica el peso específico que se hallará en laboratorio será para sólidos. Y se lo determina mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

Dónde:

γ = Peso específico relativo de un suelo cualquiera

W_s = peso del suelo seco

W_{fw} = Peso del frasco lleno de agua

W_{fsw} = Peso del frasco con agua y suelo

Dichas magnitudes se pueden medir en el laboratorio.

OBJETIVO PRICIPAL

Es el de comprender y aprender con las indicaciones del ingeniero y de la guía la metodología para la obtención del peso específico relativo de un suelo mediante la medición en laboratorio de las magnitudes indicadas en su fórmula.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

Identificar las diferencias del ensayo entre suelos granulares y finos de peso específico relativo de los suelos.

El empleo de un frasco volumétrico con cuello si se trata de un suelo cohesivo y no tan estricto en el caso de suelos no cohesivos.

Teniendo el concepto del peso específico que es la relación del peso al aire, de un determinado volumen de material, a una cierta temperatura.

Determinar a través de mediciones las magnitudes de la fórmula de peso específico relativo en el laboratorio.

Mediante el uso de un frasco volumétrico anteriormente calibrado determinar el valor de W_{fw} es decir peso del agua + frasco. Es decir de la curva de calibración temperatura vs peso.

ENFOQUE:

El peso del suelo seco se debe determinar antes de la prueba en el caso de materiales gruesos.

En cambio para muestras de suelo fino se determinará después ya que la presencia de la arcilla conjuntamente con el agua puede formar grumos atrapando aire y dando pesos erróneos.

El suelo a usarse en el ensayo para suelos finos, con una humedad natural deberá tener un peso de 80gr.

El suelo a usarse en el ensayo para suelos granulares, con una humedad natural y que pase el tamiz N°10 deberá tener un peso de 80gr.

Luego de hallados los valores de los pesos específicos relativos se los puede ajustar a rangos patrones como ser de temperatura 20 °C, cuya densidad de agua es 0,99791.

En los cálculos se hace uso de la fórmula principal, cuyas magnitudes son medibles en el laboratorio.

Una vez llenas las plantillas del peso específico a diferentes temperaturas, se hallará un promedio entre los mismos.

2.10.2.3. Equivalente de Arena (ASTM D2419)

OBJETO

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 1.18 mm (N° 16).

DEFINICIONES

Equivalente de arena

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Probeta graduada

De 50 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 600 mm de alto, graduada en mililitros hasta una capacidad de 1000 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho.

2. Pisón

Compuesto por los siguientes elementos

- a) Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con hilo en ambos extremos.
- b) Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarlo a la varilla.
- c) Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
- d) Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificada de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de $1 \text{ kg} \pm 5 \text{ g}$.

e) Sifón

Compuesto por los siguientes elementos.

- a) Una botella de aproximadamente 4 L, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
- b) Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.
- c) Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud igual o mayor que 1,5 m provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo una pinza con tornillo).

d) Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo, 4 ± 1 mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de $0,5 \pm 0,1$ mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.

3. Medida

Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

4. Tamiz

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 1.18mm (Nº 16) de abertura nominal de acuerdo con el Método H0104

5. Recipiente

Estando y de capacidad igual o mayor que 4 L para preparar el reactivo y la solución de ensayo.

6. Agitador mecánico.

Con un desplazamiento horizontal de 200 ± 2 mm y una velocidad de agitación de 175 ± 2 ciclos/min.

7. Herramientas y accesorios

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

Reactivos

8. Solución base

a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:

-240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.

-1.085 g de glicerina farmacéutica.

b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1 L de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina a la solución, mezcle bien y diluya a 2 L con agua destilada.

9. Solución de ensayo.

Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1 L con agua destilada. Se debe mantener la temperatura de la solución a $22 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante todo el ensayo.

CONDICIONES GENERALES

10. Lugar de ensayo

Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Muestreo

Extraiga y prepare las muestras.

Tamaño de la muestra de ensayo

- a) La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 1.18mm.
- b) La muestra para cada ensayo debe ser igual a una medida llena enrasada (85 ± 5 ml).

Preparación de la muestra de ensayo

11. Tamizado

Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 1,18 mm; disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.

12. Reducción.

Reduzca nuevamente por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

13. Secado.

Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$; deje enfriar a temperatura ambiente.

PROCEDIMIENTO

14. Coloque la botella del sifón con la solución de ensayo a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.

15. Sifonee la solución de ensayo en la probeta hasta que alcance un nivel de $100 \pm 5\text{mm}$.

16. Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.

17. Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrasede y vierta en la probeta.

18. Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.

19. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.

20. Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.

21. Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:

a) Agitación manual.

Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de $230 \pm 25 \text{ mm}$. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 s.

Nota 1: Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.

Nota 2: Antes de autorizar a un operador para realizar el ensayo de equivalente de arena, debe ser capaz de obtener resultados consistentes sobre muestras representativas de cualquier material ensayadas de acuerdo con el procedimiento normal. Los resultados se consideran consistentes si los valores individuales de tres ensayos realizados por el mismo operador sobre muestras gemelas no varían en más de ± 4 puntos respecto al promedio de esos ensayos. Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe autorizársele a efectuar este ensayo hasta que perfeccione su técnica y obtenga resultados que cumplan con los límites especificados.

b) Agitación mecánica

Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de 45 ± 1 s.

22. Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador.

23. Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.

24. Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 1000 ml.

25. Deje sedimentar por un periodo de $20 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$

26. Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla (N_t) aproximando al milímetro.

Nota 3: Si después de 20 min no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario, registrándolo en el informe.

Cuando el tiempo total exceda de 30 min, repita 3 veces el ensayo con muestras del mismo material. Registrar el (N_0). Que requiera el período de sedimentación más breve.

27. Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (N_a) aproximando al milímetro.

Nota 4: Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como N_t o N_a , según corresponda.

CÁLCULOS

28. Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$EA(\%) = \frac{N_a}{N_t} * 100$$

Dónde:

EA: Equivalente de arena (%).

N_a : Nivel superior de la arena (mm).

N_t : Nivel superior de la arcilla (mm).

29. Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1 % superior.

PRECISIÓN

30. Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.

31. Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 30.

2.10.3. Asfalto tipo 85 /100

2.10.3.1. **Peso específico.**

Equipo:

- Pignómetro.
- Agua destilada temperatura 25 °C.
- Muestra de C.A. a temperatura. 90 °C - 110°C (punto de ablandamiento).
- Balanza con aprox. a 0.01 gr.
- Pipeta.
- Mechero bunsen.4.

Procedimientos:

- Lograr que la muestra este a temperatura de ablandamiento.
- Llenar el pignómetro con agua a 25°C hasta la marca señalada registrar y verter el agua.
- Añadir el C.A. dentro del pignómetro, las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total del pignómetro, a una altura moderada y flujo constante (evitar burbujas de aire), registrar.
- Dejar reposar la muestra por 1h. aprox. hasta temperatura ambiente, luego someter a un baño maría a 25 °C por $\frac{1}{2}$ h. aproximadamente.
- Luego del tiempo señalado, añadir agua a 25°C hasta completar el volumen deseado dentro del pignómetro, registrar y calcula con la siguiente formula:

$$Peso\ Esp\ C.A. = \frac{Peso\ del\ C.A.}{peso\ agua - (recip. + C.A. + agua - recip. + C.A.)}$$

2.10.3.2. **Método de ensayo de penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97)**

Objeto:

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

Equipos y materiales:

- Penetrómetro

Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja, y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0,1 mm. El peso del vástago será de $47,5 \pm 0,05$ g. El peso total de la aguja y el vástago será de $50,0 \pm 0,05$ g. Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensayo, se estipulan pesas de $50,0 \pm 0,05$ g y $100,0 \pm 0,05$ g.

La superficie sobre la que se apoya la cápsula que contiene la muestra será lisa y el eje del émbolo deberá estar aproximadamente a 90° de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.

- Aguja de penetración

La aguja es de acero inoxidable templado y duro, grado 440-C o equivalente, HRC 54 a 60; debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.

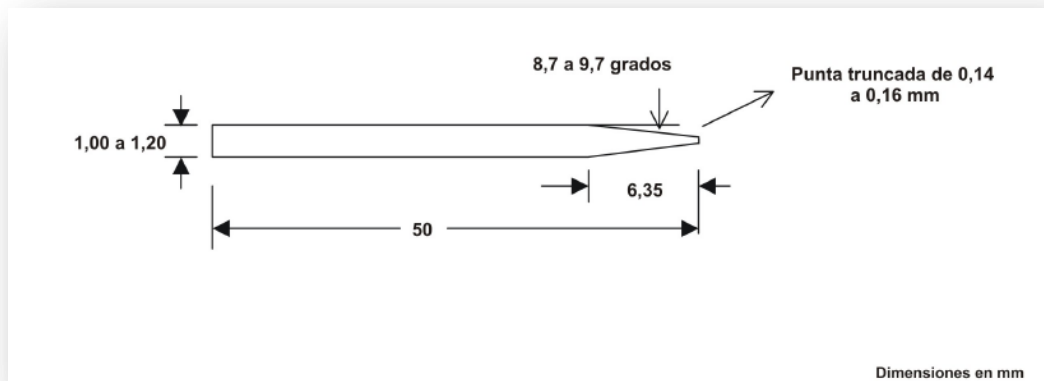
Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre $8,7^\circ$ y $9,7^\circ$ con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial de la intersección del cono y la superficie recta no debe exceder de 0,2 mm. La punta truncada del cono debe tener un diámetro entre 0,14 y 0,16 mm y en ángulo recto al eje de la aguja con una tolerancia de 2° .

El filo de la superficie de la punta truncada debe ser bien formado y libre de rugosidad. Cuando la textura de la superficie se mide de acuerdo con la American National Standard B 46.1 o ISO468, la aspereza superficial (R_a) del cono aguzado debe estar entre 0,2 y 0,3 μm como promedio aritmético.

La aspereza superficial (R_a) del eje de la aguja debe estar entre 0,025 y 0,125 micrones.

La aguja debe montarse en un casquete de metal no corrosivo, que tenga un diámetro de $3,2 \pm 0,05$ mm y una longitud de 38 ± 1 mm. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm.

La aguja debe estar rígidamente montada en el casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.



Gráfica N° 1 Detalle de aguja de ensayo de penetración

- Cápsulas

Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

- Para penetraciones bajo 200. Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 35
- Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70

- Baño de agua

Tendrá una capacidad mínima de $1 \pm 0,1$ l y un sistema apto para mantener la temperatura a 25°C , o cualquiera de ensayo, con una tolerancia de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$; tendrá, además, una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño.

Si el ensayo de penetración se realiza en el mismo baño, éste debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro.

- Transportador de cápsula

Debe tener una capacidad mínima de 350 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

- Aparato medidor de tiempo

Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronómetro

También se puede utilizar un contador de segundos audible, ajustado para proporcionar un pulso cada 0,5 s. El tiempo para un intervalo de cuenta de 11 pulsos debe ser de $5 \pm 0,1$ s.

- Termómetros

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error de $0,1^{\circ}\text{C}$, o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1. Los termómetros comúnmente utilizados son los que se indican en la siguiente tabla.

Tabla N° 3 Tipos de termómetros utilizados para el ensayo de penetración

ASTM n°	Rango	Temperatura de ensayo
17 C	19 a 27°C	25°C
63 C	-8 a $+32^{\circ}\text{C}$	0 a 4°C
64 C	25 a 55°C	46°C

Extracción y preparación de la muestra:

- Caliente la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. No caliente la muestra por más de 30 min. y evite la incorporación de burbujas en la muestra.
- Vierta la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensayo, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensayo.
- Proteja la cápsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y déjela enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30°C, entre 1 y 1,5 h. Cuando utilice el transportador de cápsula, coloque las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensayo. Las muestras en cápsulas pequeñas deben permanecer entre 1 y 1,5 h y en las más grandes, entre 1,5 y 2 h.

PROCEDIMIENTO

- Examine la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 use una aguja larga; en otros casos, utilice una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de $100 \pm 0,1$ g.
- Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra
- Haga un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro. Si se usa el transportador de cápsula, retorne la muestra y el transportador al baño de agua entre determinaciones; use una aguja limpia para cada determinación.

Precisión:

Use el siguiente criterio para juzgar si los resultados de penetración son aceptables para asfaltos a 25°C. (El criterio de precisión para otras temperaturas está siendo determinado).

- Precisión entre laboratorios

El coeficiente de variación encontrado entre laboratorios es de 3,8% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar entre laboratorios es de 1,4 para penetraciones bajo 50. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados, con el mismo material de cualquier penetración y en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir uno del otro en más de 11% de su media o 4 unidades en otros casos.

Tabla N° 4 Criterios de precisión en resultados del ensayo de penetración

Material	Desviación estándar o coeficiente de Variación, (Unidades o %)		Rango de aceptación de los resultados de ensayo (Unidades o %)	
Precisión para un solo operador				
Asfaltos a 25 °C, penetraciones bajo 50, (unidades)	0.35		1	
Asfaltos a 25 °C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	1.4		4	
Alquitranes a 25°C * (% de su media	5.2		15	
Precisión entre laboratorios				
Asfaltos a 25 °C, penetraciones bajo 50, (unidades)	1.4		4	
Asfaltos a 25 °C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	3.8		11	
Alquitranes a 25°C * (% de su media	1.4		4	
Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Máxima diferencia entre la mayor y la menor determinación	2	4	12	20

2.10.3.3. Punto de ignición o de inflamación.

Cuando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre. Esta temperatura, sin embargo, está bastante por debajo, en general, de la que el material entra en combustión permanente. Se la denomina punto de combustión (fire point), y es muy raro que se use en especificaciones para asfalto.

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de "vaso abierto Cleveland" (COC), que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

2.10.3.4. Método para determinar la ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00)

- **OBJETO**

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C y a una velocidad de 5 cm/min $\pm$ 5%. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

- **EQUIPOS Y MATERIALES**

1. Moldes

El molde, de bronce o zinc, debe ser similar en diseño al mostrado en la Figura A0105_1; los extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a', lados del molde. Cuando se arme el molde se obtendrá la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican:

A: Distancia entre los centros: 111,5 a 113,5 mm

B: Largo total de la briqueta: 74,5 a 75,5 mm.

C: Distancia entre clips: 29,7 a 30,3 mm.

D: Borde del clip: 6,8 a 7,2 mm.

E: Radio del clip: 15,75 a 16,25 mm.

F: Ancho mínimo de la sección transversal: 9,9 a 10,1 mm.

G: Ancho de la boca del clip: 19,8 a 20,2 mm.

H: Distancia entre los centros de radio: 42,9 a 43,1 mm.

I: Diámetro del orificio del clip: 6,5 a 6,7 mm.

J: Espesor: 9,9 a 10,1 mm

2. Baño de agua

Mantenga el baño a la temperatura de ensayo especificada, con una tolerancia de $\pm 0,1$ °C. El volumen mínimo de agua es de 10 l. Sumerja la muestra a una profundidad no menor que 10 cm. y apóyela sobre una bandeja perforada, ubicada a no menos que 5 cm. del fondo del baño.

3. Ductilímetro

Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se mantenga continuamente sumergida en agua, como se especifica en 7, al mismo tiempo que los clips se traccionan a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termo regulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia indicada en 8.

4. Termómetros

El termómetro por utilizar será ASTM 63 C con un rango de temperatura entre -8 y 32 °C; debe cumplir los requerimientos descritos en la norma ASTM E1.

- **PROCEDIMIENTO**

5. Preparación del molde

Arme el molde sobre una placa base; cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde (Figura A0105_1) con una película delgada de desmoldante para prevenir que el material por ensayar se adhiera. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.

6. Moldeo de las muestras para el ensayo Caliente la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que esté suficientemente fluida para verter. Sin embargo, durante el calentamiento, la temperatura no debe exceder de 80 a 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Tamice la muestra fundida a través del tamiz 0,3 mm (Nº 50); Luego continúe revolviendo y vierta el material dentro del molde. Durante el llenado cuide no tocar ni desarreglar el molde, de modo extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado. Deje enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min y luego coloque en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensayo especificada por 30 min. Luego recorte el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

Nota: Como desmoldante se puede usar vaselina, silicona u otros.

7. Conservación de las muestras a la temperatura de ensayo

Coloque la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min. a la temperatura especificada; luego quite la briqueta de la placa, separe las partes a y a' e inmediatamente ensayo la briqueta.

8. Ensayo

Enganche los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta la ruptura de la briqueta; se permite una tolerancia de $\pm 5\%$ para la velocidad especificada. Mida la distancia en cm. entre los clips traccionados en el momento de producirse la ruptura. Durante el desarrollo del ensayo, el agua en el estanque del ductilímetro cubrirá la briqueta a lo menos 2,5 cm. y ésta se mantendrá continuamente a la temperatura especificada con una tolerancia de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- INFORME

9. Un ensayo normal es aquél en el cual el material entre los dos clips se ha estirado hasta el punto de convertirse en un hilo y la ruptura ocurre en el punto donde el hilo no tiene prácticamente sección transversal. Se informará el promedio de tres ensayos normales como la ductilidad de la muestra, indicando la temperatura de ensayo.

10. Si el material bituminoso llega a tener contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, el ensayo no será considerado normal. Se ajustará la densidad del agua del baño agregando alcohol metílico o cloruro de sodio de modo que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua ni toque el fondo del baño durante el ensayo.

11. Si no se obtiene un ensayo normal en tres ensayos sucesivos en iguales condiciones, infórmela ductilidad como “no obtenible” bajo esas condiciones de ensayo.

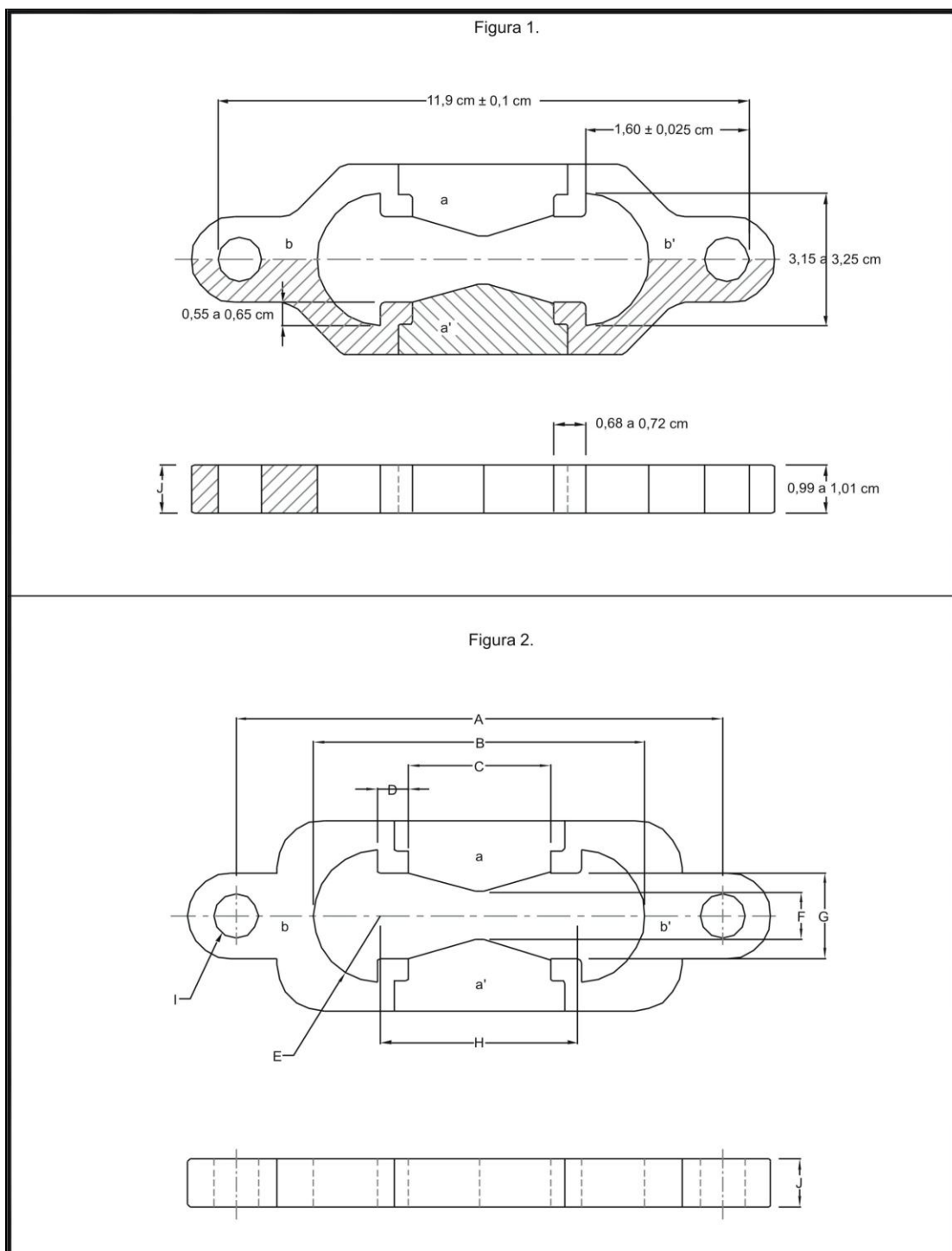


Gráfico N° 2. Molde para ductilidad de muestra de ensayo.

2.10.3.5. MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)

- OBJETO

Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60°C, y de cementos asfálticos a 135°C, en el rango de 30 a 100.000 cSt

Los resultados de este método pueden usarse para calcular la viscosidad cuando la densidad del material a la temperatura de ensayo es conocida o puede determinarse.

Nota 1: Este método es apropiado para ser usado a otras temperaturas, pero la precisión está basada solamente en la determinación en asfaltos cortados y aceites de caminos a 60 °C y cementos asfálticos a 135°C en el rango de viscosidad de 30 a 6.000 cSt.

- DEFINICIONES

1. Viscosidad Cinemática

Para un flujo por gravedad dado por una carga hidrostática, la presión de carga hidrostática de un líquido es proporcional a su densidad δ . Para un viscosímetro en particular, el tiempo de flujo para un volumen fijo de líquido es directamente proporcional a su viscosidad cinemática $\gamma = M/\delta$ donde M es el coeficiente de viscosidad. La unidad CGS de viscosidad cinemática es 1 cm²/s llamada Stokes (1 St). La unidad SI de viscosidad cinemática es 1 m²/s y es equivalente a

104 St. Comúnmente, se usa el centistokes (1 cSt = 10⁻² St).

2. Densidad

Masa por unidad de volumen del líquido. La unidad cgs de densidad es g/cm³ y la unidad SI de densidad es kg /m³.

3. Viscosidad

Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y el grado de corte. Este coeficiente es una medida de la resistencia del líquido a fluir; comúnmente se llama viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema CGS es

1 g/cm · s (1 dina · s/cm²) y se llama poise (P); la unidad SI de viscosidad es Pa s (N · s /m²) y es equivalente a 10 P; comúnmente se usa el centipoise (1cP=10⁻²P).

- EQUIPOS Y MATERIALES

4. Viscosímetros

Del tipo capilar, de vidrio boro silicato templado; los apropiados para este ensayo y se incluyen, entre otros, los siguientes:

- a) Cannon - Fenske, para líquidos opacos
- b) Zeitfuchs Cross - Arm
- c) Lantz - Zeitfuchs
- d) BSU - Tubo viscosímetro modificado de flujo reverso

5. En el Anexo A 3 se entregan algunos detalles para calibrar los viscosímetros.

6. Termómetros

Conforme a los requisitos para termómetros 47C y 110 C respectivamente, según ASTM E1.

Deben tener un rango entre 58,5° Ca 61,5° C y de 133,5° C a 136,5° C. Otro tipo de termómetros pueden utilizarse siempre que tengan una precisión, sensibilidad y seguridad igual o mayor que las prescritas en ASTM E 1.

Nota: Los Termómetros ASTM 47 y 110C están normalizados a “inmersión total”, lo cual significa inmersión del tope de la columna de mercurio, con el resto del vástago y la cámara de expansión en el tope del termómetro expuesto a la temperatura de la sala. La práctica de la inmersión completa del termómetro no se recomienda; cuando un termómetro está completamente sumergido las correcciones, para cada termómetro individual basada en la calibración bajo condiciones de completa inmersión, deben ser determinadas y aplicadas. Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante su uso, la presión del gas

en la cámara de expansión puede ser más alta o más baja que durante la normalización y puede causar lecturas alta o bajas en el termómetro.

Nota: Información acerca de técnicas de calibración propias de termómetros se dan en ASTM E 1 y método E 77.

7. Baño

Un baño adecuado para sumergir el viscosímetro tal que el líquido del estanque o la parte superior del capilar, cualquiera esté más alto, esté a lo menos 20 mm bajo el nivel superior del baño, siendo visible el viscosímetro y el termómetro. Debe estar provisto de apoyos firmes para los viscosímetros o el viscosímetro puede ser parte integral del baño. La eficiencia del escurrimiento y el balance entre entrega y pérdida de calor debe ser tal que la temperatura media del baño no debe variar en más de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ a lo largo del viscosímetro o entre viscosímetros ubicados en distintas partes del baño.

Nota: El agua destilada es un líquido apropiado para el baño para determinaciones a 60°C . Los aceites transparentes con un punto de inflamación sobre 215°C son adecuados para determinaciones a 135°C . El punto de inflamación se determina según Método A0106.

8. Cronómetros

Un cronómetro u otro medidor de tiempo activado por algún medio debidamente graduado en divisiones de 0,1 s o menor y una seguridad entre un 0,05% cuando se ensayó sobre intervalos no menores que 15 min.

9. Cronómetro eléctrico

Puede usarse sólo en circuitos eléctricos cuyas frecuencias son controladas con una precisión de 0,05% o mejor.

Nota: Cuando se usan cronómetros eléctricos, la corriente alterna, cuya frecuencia es intermitente y no controlada continuamente, como la que abastece los sistemas públicos, pueden causar grandes errores, particularmente sobre intervalos cortos.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para minimizar la pérdida de constituyentes volátiles y obtener resultados reproducibles, proceda como sigue:

Procedimientos para asfaltos cortados y aceites de caminos

- a) Para alcanzar la temperatura de la sala, son apropiadas las muestras en contenedores sellados.
- b) Abra el contenedor con la muestra y mezcle totalmente por agitación por 30 s, teniendo cuidado para evitar la entrada de aire. Si la muestra está demasiado viscosa para su agitación, colóquela dentro del contenedor sellado en un baño u horno mantenido a $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta que esté suficientemente líquida para agitarla.
- c) Inmediatamente cargue el viscosímetro o, si el ensayo se va a realizar más tarde, vacíe aproximadamente 20 ml en uno o más contenedores limpios de capacidad 30 ml e inmediatamente selle herméticamente.
- d) Para materiales con viscosidad a 60°C sobre 800 cSt, caliente los 20 ml de muestra en el contenedor sellado en un horno o baño mantenido a $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta que esté suficientemente líquido para transferirlo en forma adecuada al viscosímetro; este calentamiento no debe exceder de 30 min.

Procedimiento para Cementos Asfálticos

- a) Caliente la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamientos locales hasta que llegue a estar suficientemente fluida para vaciarla; ocasionalmente agitar la muestra para ayudar a la transferencia de calor y asegurar uniformidad.
- b) Transfiera un mínimo de 20 ml en un contenedor adecuado y caliente a $135 \pm 5^{\circ}\text{C}$; agitando ocasionalmente para prevenir sobrecalentamientos locales, teniendo cuidado que no entre aire al interior de la muestra.

• PROCEDIMIENTO

10. Los detalles específicos de las operaciones varían según los distintos tipos de viscosímetros. Sin embargo, en todo caso, siga el procedimiento general descrito del 11 al 17.
11. Mantenga el baño a la temperatura de ensayo dentro de un rango de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Si es necesario haga las correcciones a las lecturas del termómetro.
12. Seleccione un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor que 60 s, y precaliente a la temperatura de ensayo.
13. Cargue el viscosímetro en la forma indicada para el tipo de diseño del viscosímetro.
14. Deje que el viscosímetro cargado permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensayo.
15. Inicie el flujo de asfalto en el viscosímetro.
16. Mida aproximando a 0,1 s el tiempo requerido para que el borde del menisco pase de la primera marca de tiempo a la segunda. Si el tiempo de flujo es menor de 60 s, seleccione un viscosímetro con un diámetro capilar menor y repita la operación.
17. Al finalizar el ensayo, limpie el viscosímetro prolijamente mediante varios lavados con un solvente apropiado que sea completamente miscible con la muestra y luego, mediante lavados con un solvente completamente volátil. Seque el tubo, haciendo pasar en forma lenta una corriente de aire seco y filtrado a través del capilar durante 2 min. o hasta que la última traza de solvente sea removida. Periódicamente limpie el viscosímetro con ácido crómico, para remover depósitos orgánicos; lave prolijamente con agua destilada y acetona libre de residuo y seque con aire seco filtrado.

- CÁLCULOS

Calcule la viscosidad cinemática, con tres cifras significativas, usando la siguiente ecuación.

Viscosidad Cinemática $cSt = C * t$

Dónde:

C: Constante de calibración del viscosímetro (cSt/s).

t: Tiempo de flujo (s).

PRECISIÓN

Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensayo de viscosidad obtenida por este método están dados en la Tabla N° 5.

TABLA N° 5 Aceptabilidad de resultados de ensayo para viscosidad cinemática

Listado de materiales y modelos	Coefficiente de Variación (% de metal)	Rango Aceptable de los resultados (% de metal)
Precisión de operador único		
Cementos Asfálticos a 135 °C	0.64	1.8
Asfaltos Líquidos a 60 °C		
Bajo 3000 cSt	0.53	1.5
3000 a 6000 cSt	0.71	2
Superior a 6000 cSt	3.2	8.9
Precisión entre múltiples		
Laboratorios	3.1	8.8
Cementos Asfálticos a 135 °C		
Asfaltos Líquidos a 60 °C	1.06	3
Bajo 3000 cSt	3.11	9
3000 a 6000 cSt	3.6	10
Sobre 6000 cSt		

Nota: Los valores dados en la columna 2 son los coeficientes de variación que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensayo descritos en columna 1. Los valores dados en la columna 3 son los límites que no se deben exceder entre resultados diferentes de dos ensayos correctamente dirigidos.

- INFORME

Informe siempre con el resultado, la temperatura de ensayo.

2.10.3.6. Punto de: Temperatura de mezclado, Temperatura de compactado.

Temperatura de mezclado viene determinada por la temperatura a la que fluye el cemento asfáltico en el ensayo de viscosidad

La temperatura de mezcla de matriz asfáltica fina deberá oscilar a una temperatura que se encuentre entre el rango de 120 a 150° C, esto se verifica con un termómetro de varilla y se procede a la compactación.

2.10.4. Briquetas

Las briquetas se preparan con diferentes contenidos de asfalto.

Se deben preparar al menos tres briquetas para cada combinación de agregados con cemento asfáltico. En nuestro caso haremos 30 briquetas para cada mezcla realizada.

Los agregados deben estar dentro de la granulométrica establecida elegida que será lo que pase el tamiz N° 16.

En la preparación de los cuerpos de prueba o briquetas el agregado y el asfalto son calentados separadamente a temperaturas especificadas, y entonces mezclados y compactados.

El ensayo es realizado con briquetas o cuerpos de prueba cilíndricos de 4" (10,16 cm.) de diámetro, aproximadamente 2 ½" (6,35 cm.) de altura.

En cada molde, se colocaran entre 1000 y 1500 gramos de mezcla. Por lo general el peso de material para elaborar una briqueta es de 1200 gramos.

Recomendaciones.

- No se debe exagerar en el tiempo del calentado de la mezcla asfáltica porque esta se hace quebradiza. Lo recomendable es calentarla durante 3-5 minutos.
- La temperatura mínima de la mezcla debe ser de 120 °C, caso contrario se corre el riesgo de al ser compactada adquiera una superficie porosa, esto aumenta la posibilidad de oxidación y envejecimiento prematuro del concreto asfáltico.

2.10.5. Compactación de las muestras o briquetas

- Limpiar el molde de ensamblaje de la muestra y la cara del martinete de compactación, y calentarlos en agua hirviendo, o en un horno
- Colocar una pieza de papel filtro cortada a justo tamaño en el fondo o base del molde antes de introducir la mezcla.
- Situar la muestra en el molde en su totalidad, golpear la mezcla vigorosamente con una espátula caliente paleteando 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces sobre el interior.
- Remover el collar y alisar la superficie de la mezcla con una paleta para una ligera forma redondeada.
- Las temperaturas de las mezclas inmediatamente anteriores a la compactación deberán estar dentro de los límites de la temperatura de compactación establecidas anteriormente.
- Reponer el collar, colocar entonces una pieza de papel filtro cortado exactamente al tamaño, y colocarlo en la parte superior de la mezcla y colocar el molde ensamblado en el pedestal de compactación, en el sujetador de molde.
- Aplicar 50 golpes con el martillo de compactación de 10 libras (4.54 Kg.) de peso con caída libre de 18 pulgadas (457.2mm.). Sostener el eje del martillo de compactación perpendicular a la base del molde ensamblado durante la compactación.
- Remover el plato de base y el collar, invertir y reensamblar el molde. Aplicar el mismo número de golpes de compactación a la cara opuesta a la anterior.
- Después de la compactación remover el plato de base y colocar el extractor de muestras en la parte inferior de la mezcla.
- Retirar el collar del espécimen o muestra. Cuidadosamente transferir la briqueta a una superficie lisa, llana y dejarla durante una noche a temperatura ambiente.

2.10.6. Procedimiento de ensayo de estabilidad y fluencia por la prensa Marshall

Una vez frías las briquetas y extraídas del molde se pesan al aire, y se mide su altura, si esta es mayor que 2.5” debe hacerse una corrección. Luego se debe hacer los siguientes ensayos a la briqueta compactada:

- Densidad Bulk.-para determinar el volumen de la briqueta incluyendo vacíos, parámetro fundamental del ensayo Marshall para definir las propiedades de la mezcla con respecto al porcentaje de vacíos.

Esta densidad se realiza para mezclas asfálticas densas.- Se determina la gravedad específica bulk de la mezcla compactada mediante las normas INV E – 733 o INV E – 734. Se determina la gravedad específica máxima teórica mediante la norma INV E –735, sobre una mezcla asfáltica comparable para evitar la influencia de la diferencia de gradación, del contenido de asfalto, etc.

Para mezclas asfálticas abiertas Se determina la densidad bulk de una probeta, conformada en forma regular, de una mezcla asfáltica compactada, a partir de su masa seca (en g) y de su volumen (en cm³). Se mide la altura del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo, se mide su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calcula su promedio. Se calcula el volumen de la muestra con base en la altura promedio y en la medida del diámetro. Se convierte la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm³ o 997.07 kg/m³, densidad del agua a 25°C (77°F). Se determina la gravedad específica máxima teórica mediante la norma INV E – 735, sobre una mezcla asfáltica comparable, para evitar la influencia de diferencias en la granulometría, contenido de asfalto, etc.

Las fórmulas empleadas para calcular el porcentaje de vacíos de aire en una mezcla asfáltica compactada respecto al volumen total serán:

$$Va = 100 - \%Gmm$$

$$\%Gmm = \frac{Gmb}{Gmm} * 100$$

O también se puede expresar:

$$Va = 100 \left(1 - \frac{Gmb}{Gmm} \right)$$

Dónde:

V_a = porcentaje de vacíos de aire e la mezcla compactada respecto al volumen del espécimen

G_{mm} = Gravedad específica máxima teórica.

G_{mb} = Gravedad específica bulk de espécimen compactado.

% G_{mm} = Grado de compactación del espécimen, expresado en % de la gravedad máxima teórica, aquella en la que no se tienen en cuenta los vacíos entre agregados cubiertos con asfalto, condición teórica de $V_a = 0$.

Se reporta el porcentaje de vacíos de aire con una cifra decimal.

Estabilidad y flujo.- La muestra antes de ser ensayada, deberá sumergirse en un baño maría calentado a 60 ± 1 °C, durante un tiempo comprendido entre 30 y 40 minutos; inmediatamente después de retirada la muestra del baño caliente, se la colocará dentro del dispositivo para la prueba de estabilidad, y éste en la máquina o prensa de ensayo.

Al iniciarse la prueba, el gato de la prensa deberá moverse a una velocidad de 2" (50,8mm.) por minuto, hasta que la muestra falle. La carga máxima registrada se indicará como "estabilidad" de la mezcla.

La deformación sufrida por el cuerpo de prueba durante la aplicación de la carga hasta su valor máxima, es medida por un medidor de fluencia, y deberá anotarse como valor de fluencia de la muestra. Las unidades marcadas para fluencia son de 0,01" (0.254mm.).

Para determinarse el contenido óptimo de cemento asfáltico se elaboran las curvas conforme a lo citado, y el contenido a ser elegido debe satisfacer:

- El punto de máxima densidad.
- El punto de máxima estabilidad.
- El punto de aproximadamente 6% de vacíos.
- Un punto dentro los límites de fluencia.

Con el contenido óptimo para cada relación, lo que queda por hacer es sacar un promedio.

En la prensa del aparato Marshall se realizan las mediciones de carga de ruptura y de deformación plástica.

En este ensayo de la prensa Marshall se graficará la curva de estabilidad – deformación

Resultados:

- Estabilidad Marshall: Los resultados de estabilidad y deformación será los valores medios respectivos de un mínimo de tres probetas ensayadas.

Se considera que los resultados son aceptables si la desviación de la estabilidad y de la deformación de cada probeta con relación a la media es igual o menor que el valor V% de la media. Si los valores de una o más probetas difieren de la media en más de V% se rechaza el valor más disparado y se obtiene el valor medio de las restantes probetas

Los datos obtenidos nos permiten hacer las siguientes relaciones o confrontaciones mediante graficas:

Densidad.....Porcentaje de asfalto

Estabilidad.....Porcentaje de asfalto

Fluencia..... Porcentaje de asfalto

Porcentaje de vacíos.....Porcentaje de asfalto

2.11. Montaje experimental para determinar la influencia de humedad relativa.

2.11.1. Equipo a utilizar

- 2 recipientes o desecadores con cierre hermético conectados por una tubería entre sí.
- Sensor de humedad
- Sales higroscópicas para producir humedad relativa
- Briquetas de matriz asfáltica fina

2.11.2. Procedimiento

_ El montaje experimental implementado en esta investigación tuvo como objetivo la aplicación de la técnica de equilibrio de vapor para generar diversos grados de humedad

relativa en pequeños medioambientes cerrados utilizando sales higroscópicas disueltas en agua destilada.

_ Para el montaje se usarán recipientes de vidrio con cierre hermético con el fin de mantener el grado de humedad deseado en un medio ambiente cerrado.

_ Para controlar el grado de humedad existentes al interior de los recipientes, se utilizaran sensores de humedad electrónicos.

_ El tiempo de contacto entre humedad relativa y la matriz asfáltica fina será variable.

_ Luego se procederá a someter a la muestra de matriz asfáltica fina a una carga diametral en la prensa Marshall para determinar la alteración que se llega a producir debido al efecto de la humedad relativa.

2.12. Análisis estadístico

2.12.1. Media aritmética

Es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

Se utilizará esta fórmula estadística de para que nuestros resultados sean representativos de cada porcentaje de humedad relativa.

Y la fórmula a utilizar es:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{N}$$

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

Dónde:

X = Valor de la media aritmética

X_1, X_2, X_3 = Valores de muestras obtenidas.

N = Número de muestras.

2.12.2. Desviación estándar

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

Es por eso que se utilizara la desviación estándar para desestimar datos que no estén en un rango de correlación aceptable del 95%:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n xi - x^2}{n - 1}$$

Dónde:

xi= Valor de cada muestra de observación

$\bar{x}$ = Valor de la media aritmética

n = Número de muestras

2.12.3. Ajuste de gráficas a Regresiones Estadísticas

En estadística, el análisis de la regresión es un proceso estadístico para la estimación de relaciones entre variables. Incluye muchas técnicas para el modelado y análisis de diversas variables, cuando la atención se centra en la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Más específicamente, el análisis de regresión ayuda a entender cómo el valor típico de la variable dependiente cambia cuando cualquiera de las variables independientes es variada, mientras que se mantienen las otras variables independientes fijas.

2.12.4. Resultados y gráficas.

Luego se procede a graficar los resultados correspondientes a los cálculos obtenidos que estarán en función de la humedad relativa y el grado de estabilidad de la briqueta.

En estas gráficas se podrá visualizar los resultados obtenidos de cómo afecta la humedad relativa en el comportamiento mecánico de una matriz asfáltica fina y cuanto es su influencia y alteración en su comportamiento y deterioro de la matriz asfáltica fina.

También se realizarán las comparaciones existentes en:

Estabilidad.....	Humedad Relativa
Fluencia.....	Humedad Relativa
Humedad Higroscópica.....	Humedad Relativa

CAPÍTULO III

INVESTIGACIÓN SOBRE LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA EN EL COMPORTAMIENTO Y DETERIORO DE LA MATRIZ ASFÁLTICA FINA

3.1. Determinación de las muestras de investigación

3.1.1. Ubicación de la obtención del material

La realización de nuestras briquetas de matriz asfáltica fina se desarrolló en la planta de asfaltos “El Molino” de la asociación accidentada “Vial Copacabana” y está ubicado en la comunidad del Molino que se encuentra en la zona alta de Tarija, más concretamente a 500 m. del túnel Falda la Queñua.



Foto N° 1. Campamento del Molino “Laboratorios de la Planta de asfalto”

3.2. Caracterización del agregado pétreo

3.2.1. Granulometría del agregado

Tamices	% Que Pasa Del Total
N°16	100,00
N°30	57,50
N°40	39,50
N°80	29,00
N°100	20,00
N°200	10,00
BASE	0,00

Tabla N° 6 Granulometría Fuente propia

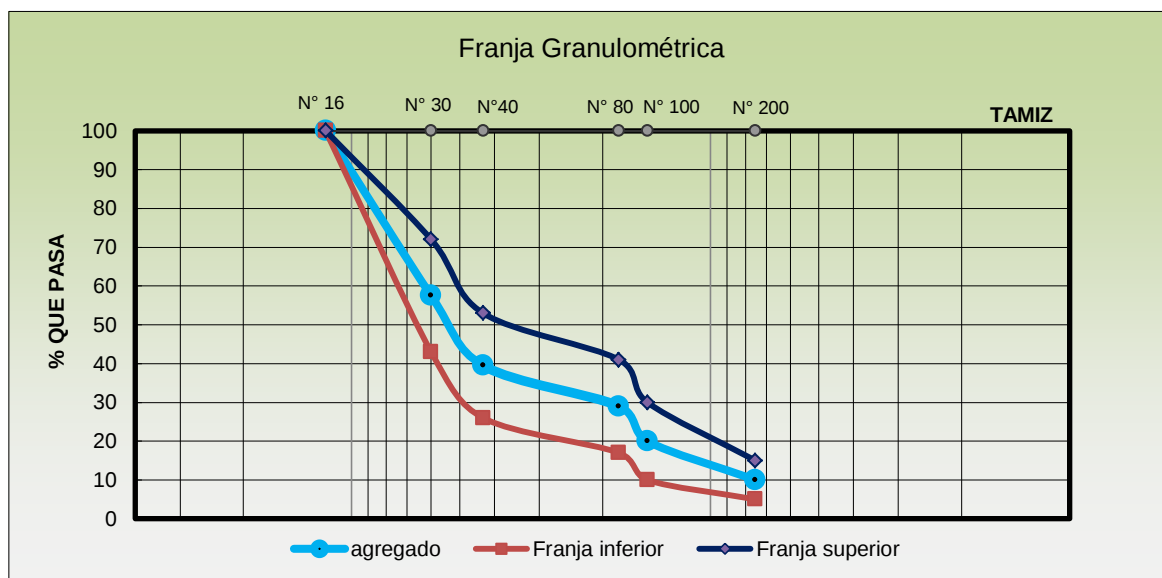


Gráfico N° 3 Franja Granulométrica Fuente Propia

3.2.2. Peso Específico Relativo



Foto N°2 Calibración del Frasco



FotoN°3 Peso Específico Agregado

Peso específico relativo es 2.35 Kg/m^3

3.2.3. Equivalente de Arena



Foto N° 4 Equivalente de Arena

EA = 90 %

3.3. Característica del Asfalto Betupen Plus

3.3.1. Peso Específico



Foto N°5 Baño María de picnómetros con asfalto

$$PE = 0.9931 \text{ kg/m}^3$$

3.3.2. Penetración



Foto N°6 Penetrómetro

Nuestra penetración es de **87.7 mm. $\approx$ 88 mm**

3.3.3. Punto de Ignición



Foto N° 7. Punto de Ignición

Nuestro Punto de ignición es igual 253 °C.

3.3.4. Ductilidad

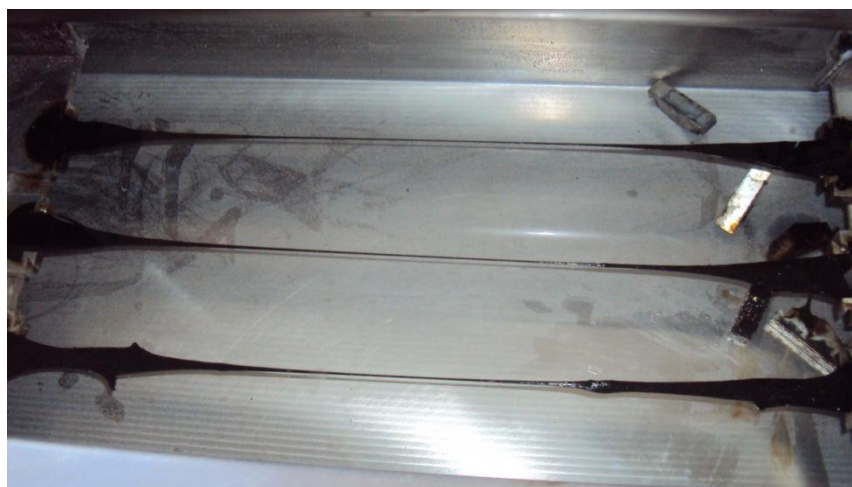


Foto N° 8. Ductilidad

Nuestra ductilidad en promedio es de **1,36 m.**

3.3.5. Viscosidad



Foto N° 9 Viscosidad.

Nuestra viscosidad es de que llega el fluido a recorrer la distancia determinada es de un tiempo de 5,25 s. a una temperatura de 135 °C

3.3.6. Proceso de obtención del contenido óptimo de asfalto



Foto N° 10 Briquetas obtenidas

Nuestro contenido óptimo de asfalto es de 7% del total de la mezcla.

3.4. Tipo de sales higroscópicas utilizadas

Las sales higroscópicas utilizadas para controlar la humedad relativa a la que se expuso las muestras de matriz asfáltica fina son las siguientes:

Tabla de sales higroscópicas utilizadas

Sal Higroscópica utilizada	HR. Lograda (%)	Concentración de Sal (gr/100 ml H ₂ O)
Cloruro de Calcio CaCl ₂	57,0	100 gr / 100 ml
Cloruro de Calcio CaCl ₂	58,0	150 gr / 200 ml
Cloruro de Calcio CaCl ₂	59,0	200 gr / 200 ml
Cloruro de Calcio CaCl ₂	61,0	250 gr / 250 ml
Cloruro de Calcio CaCl ₂	62,0	250 gr / 250 ml
Nitrito de Sodio NaNO ₂	65,0	150 gr / 250 ml
Nitrito de Sodio NaNO ₂	69,0	200 gr / 200 ml
Nitrito de Sodio NaNO ₂	71,0	250 gr / 200 ml
Nitrito de Sodio NaNO ₂	73,0	250 gr / 250 ml
Nitrito de Sodio NaNO ₂	74,0	250 gr / 200 ml
Cloruro de Sodio NaCl	75,0	150 gr / 200 ml
Cloruro de Sodio NaCl	76,0	200 gr / 200 ml
Cloruro de Sodio NaCl	77,0	250 gr / 250 ml
Cloruro de Sodio NaCl	79,0	300 gr / 250 ml
Cloruro de Sodio NaCl	80,0	300 gr / 300 ml

Tabla N° 7 Sales higroscópicas

Fuente propia

3.5. Realización del ensayo de influencia de la humedad relativa en la matriz asfáltica fina

3.5.1. Equipo a utilizar

- 2 recipientes con tapa hermética
- 1 sensor de humedad “Digital Thermo – Hygrometer”
- Manguera

3.5.2. Materiales utilizados

- Agua Destilada
- Muestras de matriz asfáltica fina.
- Sales higroscópicas

3.5.3. Metodología experimental

- Se conectaron los recipientes uno al otro por medio de la manguera
- Se introduce la muestra de matriz asfáltica en un recipiente juntamente con el sensor de humedad.
- En el otro recipiente se prepara la solución química que producirá humedad relativa.
- Se deja reposar el tiempo necesario para que la humedad relativa llegue a tener el contacto necesario para determinar el grado de influencia que llega a tener esta humedad en la matriz asfáltica fina.
- Posteriormente se saca la muestra y se la procede a romper en la prensa Marshall.

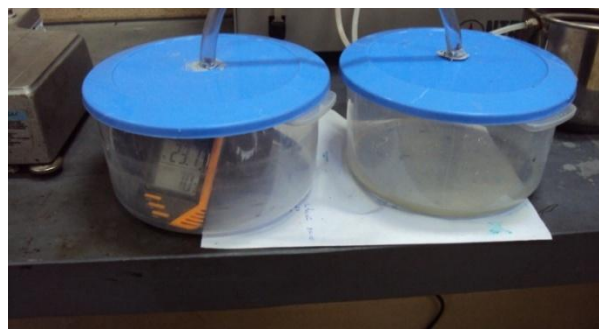


Foto N° 11. Acondicionamiento experimental

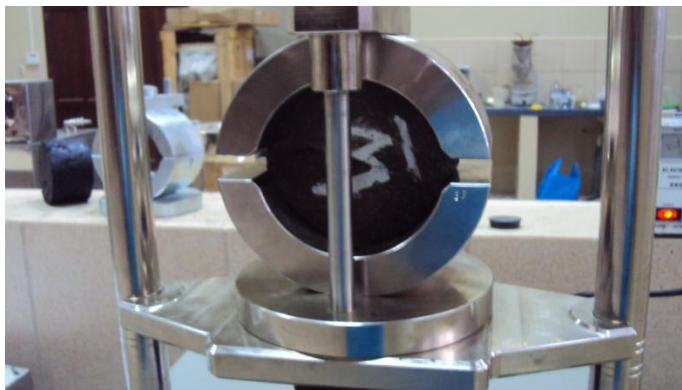


Foto N° 12 Ruptura en Prensa Marshall

3.6. Resultados obtenidos

Tiempo de contacto 30 min						
LIG. %	HR %	VACIOS % VTM	DENS. REAL (Ton/m ³)	ESTABIL. (Lbf.)	FLUENCIA 1/100"	HUMEDAD HIGROSCÓPICA(gr)
7,0	57,0	4,0	1,941	2.032,3	8,7	3,36
7,0	58,0	4,0	1,943	2.030,2	8,9	3,37
7,0	59,0	4,0	1,941	2.029,3	9,0	3,37
7,0	61,0	4,0	1,940	2.027,2	9,1	3,43
7,0	62,0	4,0	1,940	2.025,1	9,2	3,45
7,0	65,0	4,0	1,937	2.022,8	9,5	3,49
7,0	69,0	4,0	1,936	2.015,3	10,2	3,57
7,0	71,0	4,0	1,938	2.010,1	10,2	3,6
7,0	73,0	4,0	1,939	1.982,0	10,6	3,64
7,0	74,0	4,0	1,938	1.976,0	10,6	3,66
7,0	75,0	4,0	1,940	1.953,8	10,4	3,68
7,0	76,0	4,0	1,939	1.914,8	10,5	3,71
7,0	77,0	4,0	1,937	1.895,0	10,6	3,75
7,0	79,0	4,0	1,939	1.861,5	10,8	3,78
7,0	80,0	4,0	1,938	1.853,8	11,0	3,78

Tabla N° 8 Resultados de un tiempo de contacto de 30 min

Fuente Propia

Tiempo de contacto 60 min						
LIG. %	HR %	VACIOS % VTM	DENS. REAL (Ton/m ³)	ESTABIL. (Lbf.)	FLUENCIA 1/100"	HUMEDAD HIGROSCÓPICA(gr)
7,0	57,0	4,0	1,941	1.937,0	9,7	3,48
7,0	58,0	4,0	1,942	1.931,9	9,8	3,5
7,0	59,0	4,0	1,942	1.929,2	9,9	3,49
7,0	61,0	4,0	1,943	1.909,9	10,1	3,56
7,0	62,0	4,0	1,941	1.904,8	10,3	3,57
7,0	65,0	4,0	1,940	1.889,5	10,7	3,62
7,0	69,0	4,0	1,939	1.876,0	11,1	3,69
7,0	71,0	4,0	1,943	1.863,3	11,2	3,73
7,0	73,0	4,0	1,941	1.851,6	11,6	3,76
7,0	74,0	4,0	1,941	1.839,7	11,6	3,79
7,0	75,0	4,0	1,940	1.795,3	11,5	3,8
7,0	76,0	4,0	1,940	1.767,3	11,7	3,84
7,0	77,0	4,0	1,943	1.756,5	11,8	3,87
7,0	79,0	4,0	1,940	1.715,9	11,9	3,91
7,0	80,0	4,0	1,942	1.705,2	11,9	3,92

Tabla N° 9 Resultados de un tiempo de contacto de 60 min Fuente propia

Tiempo de contacto 24 horas						
LIG. %	HR %	VACIOS % VTM	DENS. REAL (Ton/m ³)	ESTABIL. (Lbf.)	FLUENCIA 1/100"	HUMEDAD HIGROSCÓPICA(gr)
7,0	57,0	4,0	1,942	1.759,8	11,8	4,1
7,0	61,0	4,0	1,940	1.732,7	12,3	4,18
7,0	65,0	4,0	1,941	1.712,3	12,8	4,21
7,0	69,0	4,0	1,941	1.698,8	13,2	4,22
7,0	71,0	4,0	1,939	1.686,0	13,3	4,22
7,0	75,0	4,0	1,942	1.638,5	13,6	4,25
7,0	80,0	4,0	1,942	1.589,7	14,1	4,25

Tabla N° 10 Resultados de un tiempo de contacto de 24 horas Fuente Propia

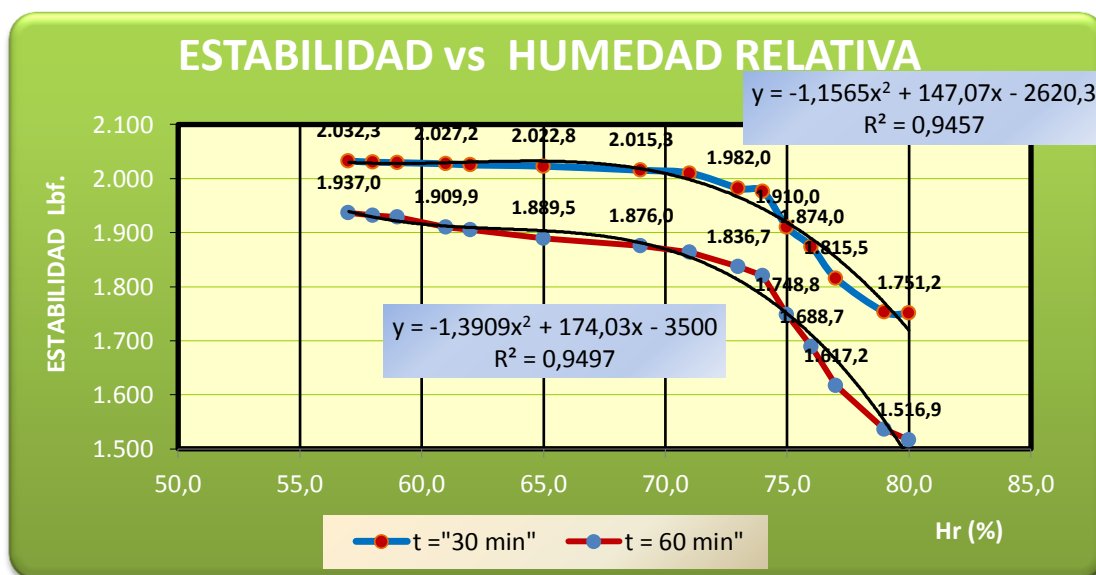
Tiempo de contacto 24 horas y luego reposar en contacto de humedad relativa del ambiente

LIG. %	HR %	VACIOS % VTM	DENS. REAL (Ton/m ³)	ESTABIL. (Lbf.)	FLUENCIA 1/100"	HUMEDAD HIGROSCÓPICA(gr)
7,0	57,0	4,0	1,941	1.715,2	13,2	4,08
7,0	65,0	4,0	1,942	1.704,6	13,4	4,1
7,0	71,0	4,0	1,942	1.702,5	13,5	4,11
7,0	75,0	4,0	1,941	1.698,7	13,6	4,12
7,0	80,0	4,0	1,940	1.681,3	13,7	4,15

Tabla N° 11 Resultados de un tiempo de contacto de 24 horas dejando reposar 24 horas
humedad ambiente Fuente propia

3.6.1. Análisis de Resultados

Gráfica N° 4. Estabilidad vs Humedad Relativa (30 min y 60 min)



Fuente propia

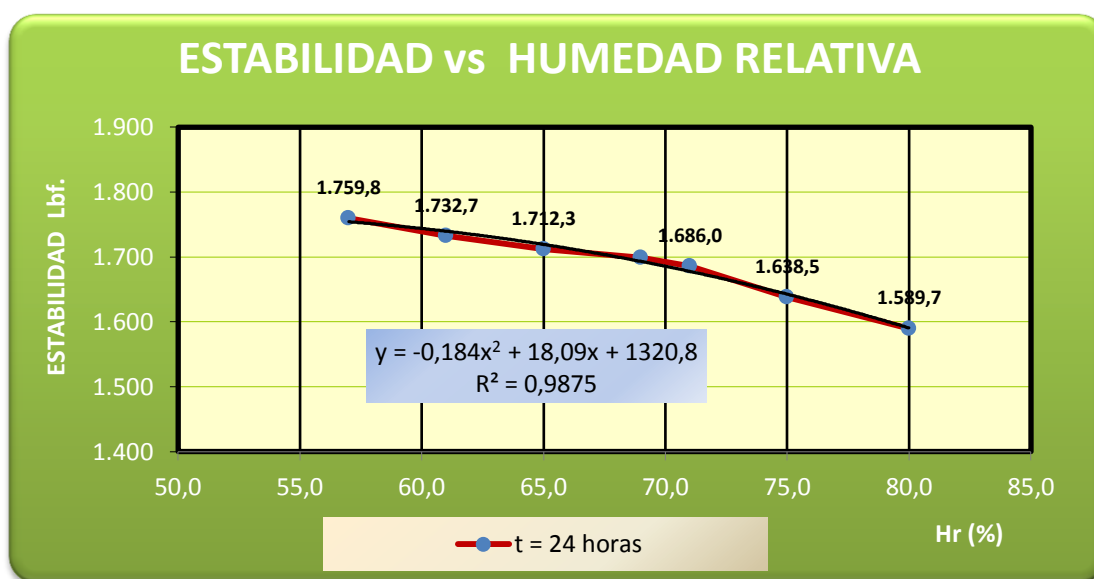
El objetivo de la presente gráfica es mostrar la influencia que tiene la matriz asfáltica fina al ser influencia por la humedad relativa, partiendo de la hipótesis de que a mayor tiempo que llegue a estar expuesta la matriz asfáltica con la humedad relativa sufre una mayor disminución de su estabilidad, teniendo una variación de unos 7% entre las muestras que están expuestas a 30 min y 60 min.

En la matriz asfáltica fina se observa que la estabilidad se influenciada por la humedad relativa en forma desventajosa ya que cuanto mayor es la humedad se va perdiendo estabilidad de acuerdo a nuestros ensayos de 2032 a 1751 Lbf cuando la humedad varia de 57 a 80 % en un tiempo de contacto de 30 minutos, en cambio en las muestras que tiene un tiempo de contacto de 60 min con la humedad relativa de 57% tiene una estabilidad de 1957 Lbf y con una humedad de 80% tiene una estabilidad de 1516 Lbf.

La resistencia varía de una forma decreciente continua graduada hasta llegar a los 75 % de humedad relativa en dónde después de los 75 % se observa que la resistencia varía de una manera decreciente abrupta debido a la saturación de la muestra.

Esto nos indica que a una mayor humedad relativa y un mayor tiempo de contacto este con la matriz asfáltica fina la estabilidad tiende a disminuir.

Gráfica N° 5 Estabilidad vs Humedad Relativa (t = 24 horas)



Fuente propia

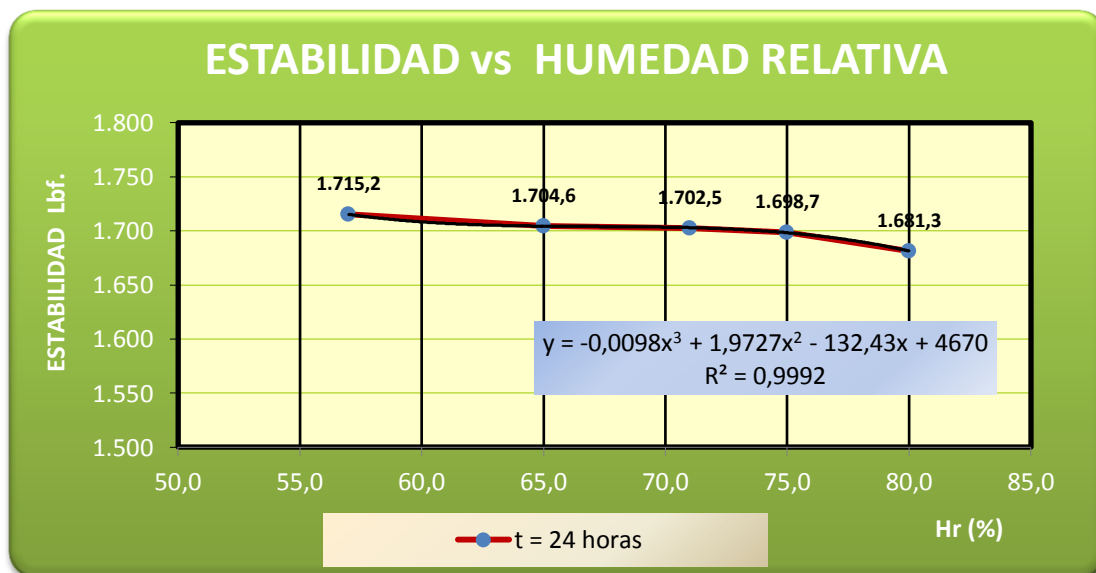
En esta gráfica observamos un descenso de la resistencia de la matriz asfáltica fina a una carga diametral, debido a la influencia de la humedad relativa en un tiempo de 24 horas, se realiza en este intervalo de tiempo para ver como varia su estabilidad en tiempos de contacto más grandes.

Pero esta vez el contacto entre la humedad relativa y la muestra de matriz asfáltica fina es de un tiempo de 24 horas donde nos muestra que tiende a estabilizarse la estabilidad, mostrándonos que no existe una gran diferencia en la estabilidad cuando a sido influenciada a una humedad relativa de 57% con respecto a la muestra que fue expuesta a una humedad relativa de 80%.

En la matriz asfáltica fina se observa que la estabilidad se influenciada por la humedad relativa en forma desventajosa ya que cuanto mayor es la humedad se va perdiendo estabilidad de acuerdo a nuestros ensayos de 1760 a 1589 lb cuando la humedad varia de 57 a 80 %.

La resistencia se ajusta a una línea de tendencia polinómica de 3º grado

Gráfica N° 6 Estabilidad vs Humedad Relativa (24 horas de humedad ambiental)

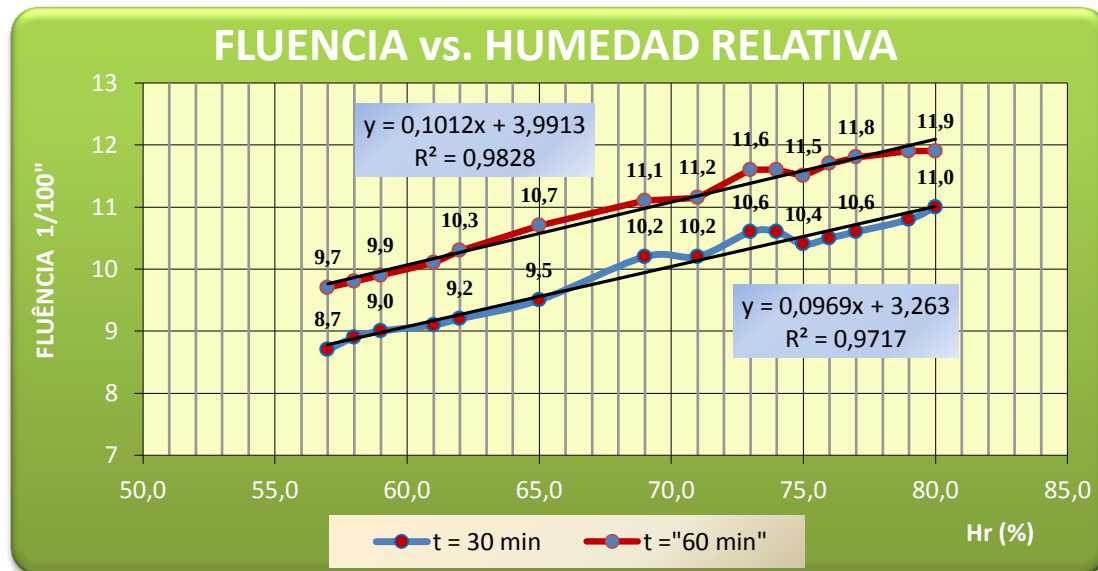


Fuente propia

En esta gráfica mostramos como varia la estabilidad de la matriz asfáltica fina debido al contacto con la humedad relativa controlada en 24 horas y luego dejarla 24 horas a humedad relativa del ambiente, en donde casi en todas las muestras nos muestran resultados muy similares entres si debido a que las muestras adquieren humedades similares.

Ajustamos la gráfica a una línea de tendencia polinómica de 3° grado ya que las anteriores fueron ajustadas a una similar para que las gráficas puedan ser correlativas

Gráfica N° 7. Fluencia vs Humedad Relativa (30 min y 60 min)



Fuente propia

El objetivo de la gráfica es mostrar la variación existente en la fluencia de la muestra de matriz asfáltica fina debido al tiempo de contacto con la humedad relativa que ha sido expuesto, mostrándonos una variación de 9% entre los sus resultados de fluencia de 30 minutos y 60 minutos.

Viendo la gráfica se observa que la fluencia o la deformación de la muestra de matriz asfáltica fina que sufre hasta la ruptura por efecto de la carga diametral son de forma ascendente variable con respecto a la humedad relativa.

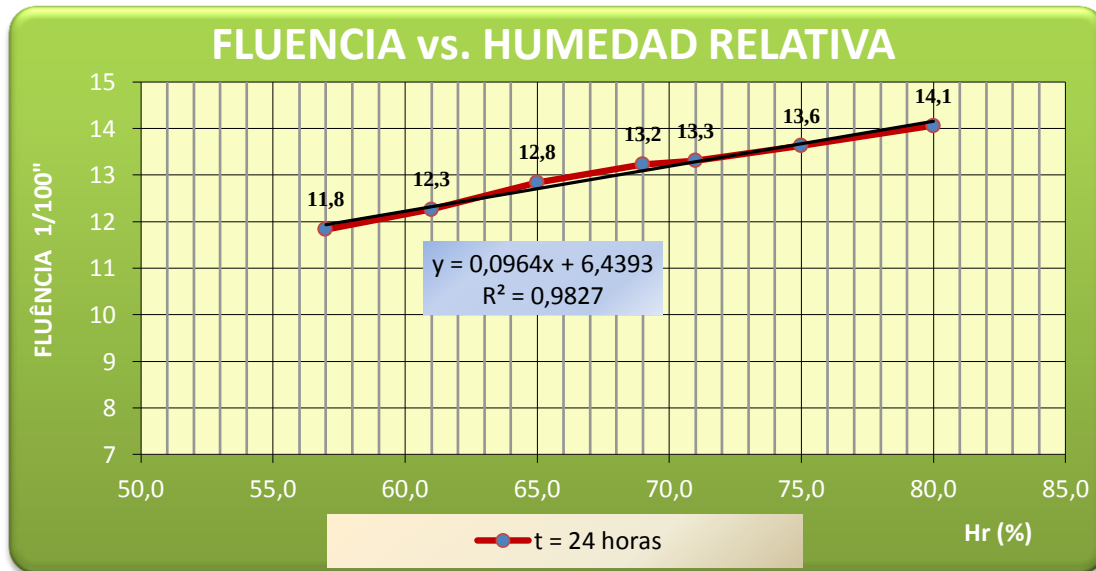
La línea de las muestras que tienen un contacto de 30 min con la humedad relativa sufre una menor deformación con respecto a las que tienen un contacto de 60 min.

La gráfica de resultados de muestras que tiene un contacto de 60 min con humedad relativa tiene una mayor deformación con las de 30 min, pero se ajustan mejor a la línea de tendencia lineal

Se ve que cuando la humedad relativa comienza a sobrepasar los 67% de humedad relativa los resultados tienden a desestabilizarse.

Las gráficas se ajustan a una línea de tendencia lineal

Gráfica N° 8. Fluencia vs Humedad Relativa (t =24 horas)



Fuente propia

En esta gráfica observamos un ascenso en la fluencia de la matriz asfáltica fina debido a una carga diametral, y esto se debe a la influencia de la humedad relativa en un tiempo de 24 horas, se realiza en este intervalo de tiempo para ver como varia su fluencia en tiempos de contacto más grandes.

En esta gráfica se observa como varia la fluencia debido a la humedad relativa y esta tiende a ser de manera ascendente pero sin mucha variación respecto a la anterior gráfica.

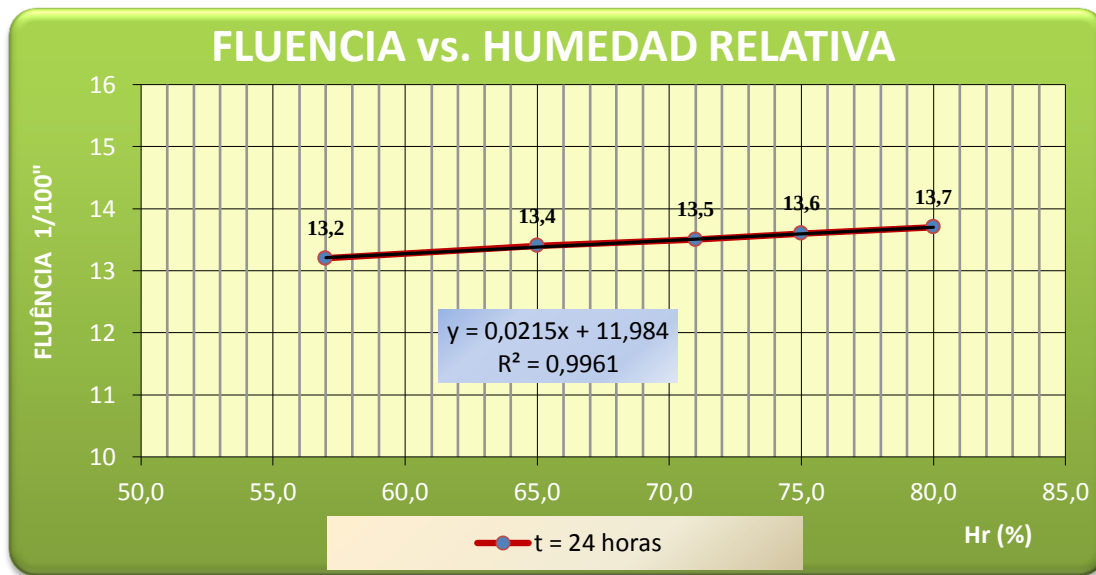
En esta gráfica el contacto de humedad relativa con la muestra de matriz asfáltica fina es de 24 horas lo que nos da resultados más concretos de la influencia de la humedad relativa en el comportamiento y deterioro de la matriz asfáltica fina.

La gráfica muestra los cambios que llegan a tener en la matriz asfáltica fina en sus propiedades mecánicas dándonos una mayor deformación con respecto a la humedad relativa que varía de 57 a 80 % en un tiempo de contacto de 24 horas.

La matriz asfáltica fina sufre una variación en su deformación de 11.8 a 14,1 mm.

La gráfica se ajusta a una línea de tendencia lineal ascendente y varía de acuerdo a la humedad relativa en un tiempo e contacto determinado de 24 horas.

Gráfica N° 9 Fluencia vs Humedad Relativa (24 horas de humedad ambiental)



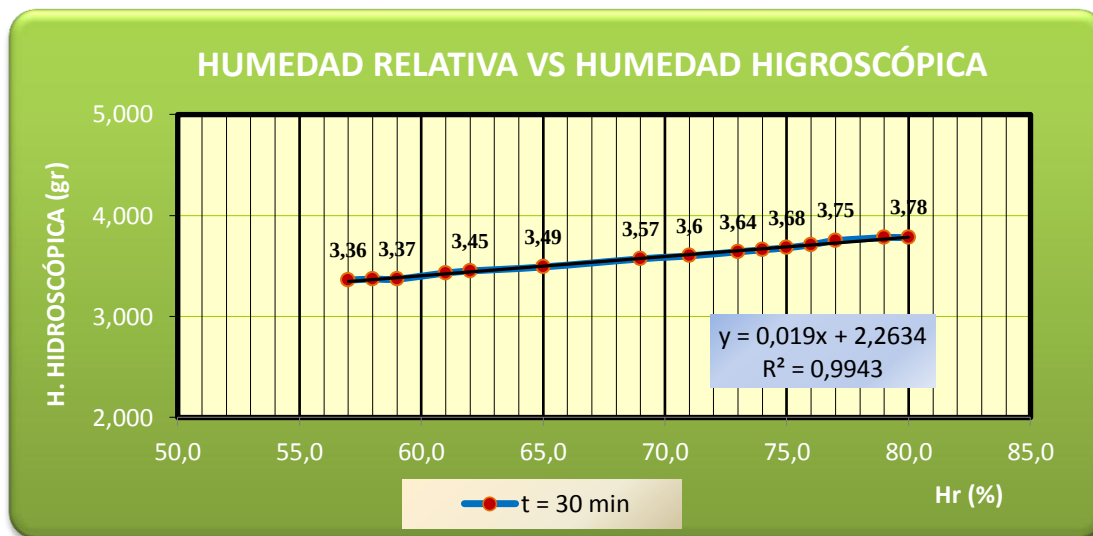
Fuente propia

La siguiente gráfica fue el resultado de exponer la muestra de matriz asfáltica fina al contacto con la humedad relativa durante 24 horas y luego dejarla a la humedad ambiental, por lo que la humedad tiende a ser homogénea ya sea porque va perdiendo humedad o viceversa adquiriendo humedad ambiental, por lo cual los resultados no sufren grandes variaciones obteniendo una fluencia que varía de 13.2 a 13.7 mm con una humedad relativa de ensayo de 57 a 80 %, por lo que nos da una gráfica de fluencia más estable.

De acuerdo a la gráfica de fluencia obtenida podemos determinar que el tiempo de contacto entre humedad relativa y la matriz asfáltica es influyente y determinante para obtener resultados más estables y de un rango mayor de correlación.

La gráfica tiende a ajustarse a una línea de tendencia lineal de forma ascendente.

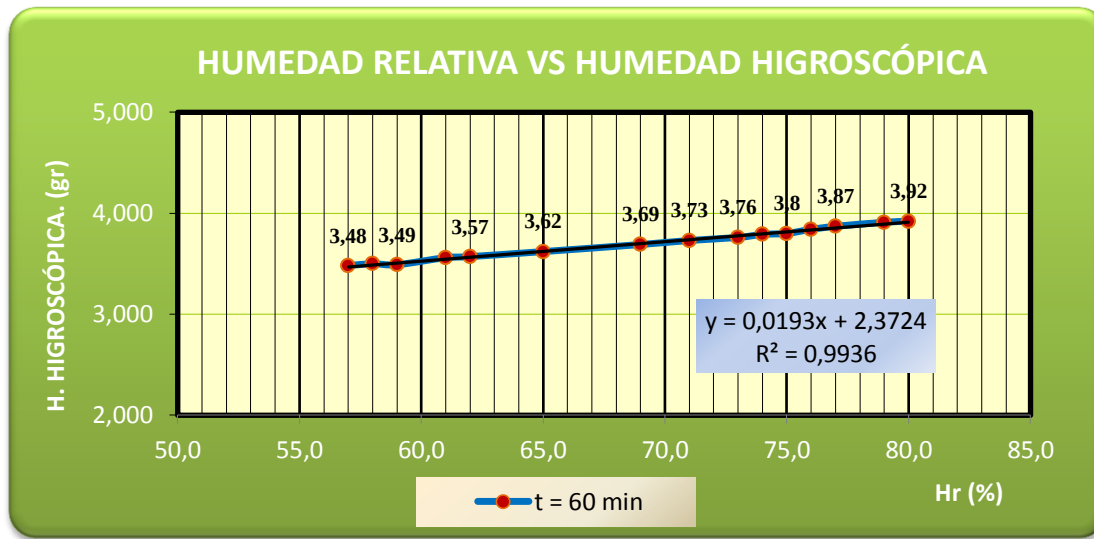
Gráfica N° 10 Humedad Higroscópica vs Humedad Relativa (t = 30 min)



Fuente propia

Se observa que la humedad higroscópica adquirida por el material es directamente proporcional a la humedad relativa, y que de acuerdo a como se va aumentando la humedad relativa aumenta la humedad higroscópica, llegando a tener valores desde 3.36 gr de humedad higroscópica cuando esta en contacto con una humedad relativa de 57%, hasta tener un valor de 3.78 gr de humedad higroscópica a una humedad relativa de 80%.

Gráfica N° 11 Humedad Higroscópica Vs Humedad Relativa (t = 60 min)

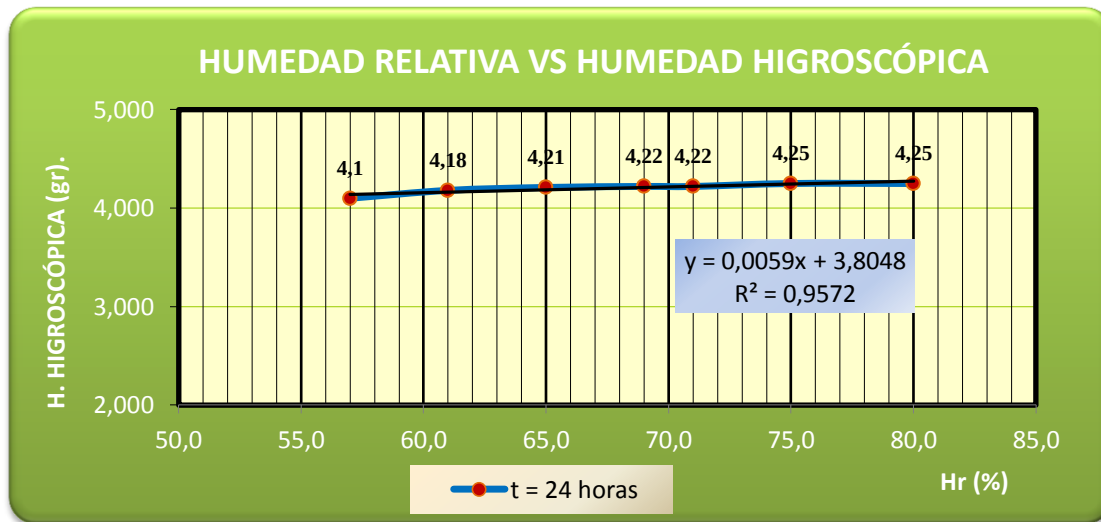


Fuente propia

Se observa que con un tiempo de contacto de 60 minutos nuestra muestra adquiere mayor humedad higroscópica, debido a la porosidad de la muestra y la humedad relativa controlada. Lo que nos muestra que existe una relación directamente proporcional entre la humedad relativa y la humedad higroscópica, debido a que cuando tenemos una mayor humedad relativa existe una mayor captación de humedad higroscópica.

En este gráfico es muy similar al anterior con la única variación que en un mayor tiempo de contacto existe una mayor humedad higroscópica adquirida por la muestra.

Gráfica N° 12 Humedad Higroscópica Vs Humedad Relativa (24 horas)



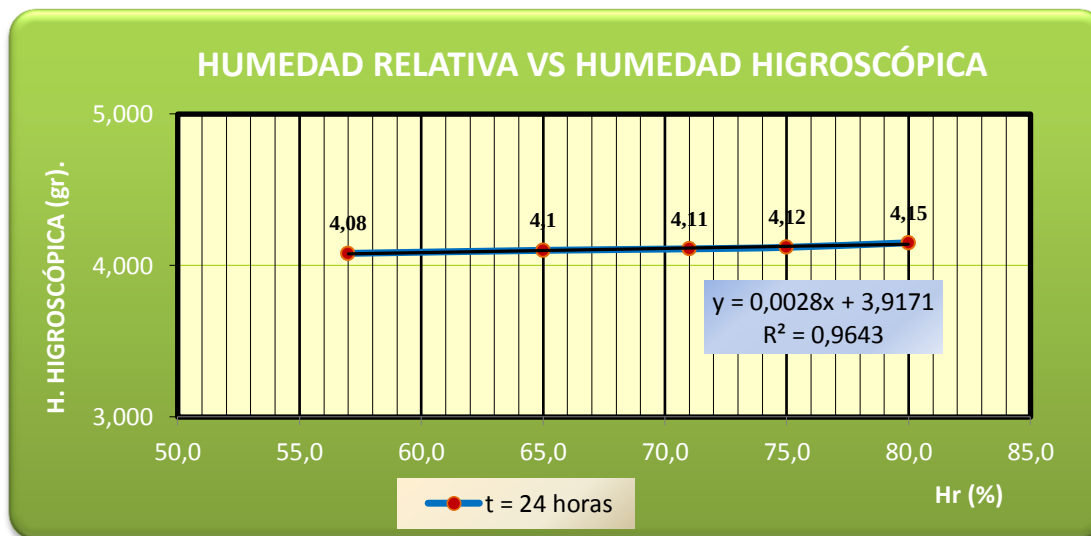
Fuente propia

El objetivo de esta gráfica es mostrar de cómo la muestra de matriz asfáltica fina llega a tener una mayor captación de humedad higroscópica en un intervalo de tiempo de contacto con la humedad relativa de 24 horas, la captación de humedad higroscópicas de manera ascendente hasta llegar a un punto en donde la muestra se satura y ya no capta más humedad higroscópica dándonos valores muy similares entre las humedades relativas de 57% hasta 80 %.

También se ve que a diferencia existente entre la humedad relativa de 57% y 80% no es muy grande porque nos da valores de humedad higroscópica de 4.1 gr y 4.25 gr respectivamente.

Esta línea matemática se ajusta mejor a una línea de tendencia lineal dándonos un coeficiente de correlación superior a 95%.

Gráfica N° 13 Humedad Higroscópica Vs Humedad Relativa (24 horas de humedad ambiental)



Fuente propia

Por último en esta gráfica se observa que la humedad higroscópica adquirida por la muestra en un contacto de 24 horas con humedad relativa controlada y luego dejar reposar en humedad del ambiente no llega a tener alteraciones desde la mínima hasta la máxima humedad relativa de ensayo debido a que se llega a producir una saturación homogénea, debido a la obtención o pérdida de humedad gracias a la porosidad de la muestra.

3.7. Descripción del análisis estadístico

_Descripción del tipo de análisis: Es un análisis cualitativo y visualizado en un tipo de gráfico de dispersión (x, y) con líneas rectas y marcadores, en donde obtendremos datos de ruptura en prensa Marshall de las muestras de matriz asfáltica fina que fueron influenciadas por humedades relativas controladas y medidas mediante un sensor de humedad.

_Proceso estadístico:

Para cada humedad relativa de ensayo obtenemos resultados de Estabilidad, Fluencia y Humedad Higroscópica.

Estos resultados se diseñan en un gráfico de dispersión(x, y) de líneas rectas con marcadores, colocando los valores de humedad relativa en el eje de las abscisas y los resultados de estabilidad, fluencia y humedad higroscópica en el eje de las ordenadas.

Posteriormente vemos a que línea de tendencia matemática se ajusta mejor, de acuerdo a un mayor coeficiente de correlación aceptable mayor o igual a 95%.

_Análisis de regresión: Para nuestro análisis de regresión vemos como la variable dependiente que este caso seria los resultados de estabilidad, fluencia y humedad higroscópica es alterada por la variable independiente que viene a ser la humedad relativa, se trata de dar una regresión matemática partiendo de un buen ajuste a una línea de tendencia buscando un mayor coeficiente de correlación.

_Curvas de ajuste: Las curvas de ajuste obtenidas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 12 de curvas de ajuste obtenidas

Nombre de Gráfica	Tiempo de contacto	Tipo de línea de tendencia	Ecuación
Estabilidad VS Humedad Relativa	30 m n	Polinómica de 3° grado	$y = -1,1565x^2 + 147,07x - 2620,3$
Estabilidad VS Humedad Relativa	60 min	Polinómica de 3° grado	$y = -1,3909x^2 + 174,03x - 3500$
Estabilidad VS Humedad Relativa	24 horas	Polinómica de 3° grado	$y = -0,184x^2 + 18,09x + 1320,8$
Estabilidad VS Humedad Relativa	24 horas + 24 horas ambiente	Polinómica de 3° grado	$y = -0,0098x^3 + 1,9727x^2 - 132,43x + 4670$
Fluencia VS Humedad Relativa	i30 m n	Lineal	$y = 0,0969x + 3,263$
Fluencia VS Humedad Relativa	60 min	Lineal	$y = 0,0969x + 3,263$
Fluencia VS Humedad Relativa	24 horas	Lineal	$y = 0,0964x + 6,4393$

Fluencia VS Humedad Relativa	24 horas + 24 horas ambiente	Lineal	$y = 0,0215x + 11,984$
H. Higroscópica VS Humedad Relativa	30 min	Lineal	$y = 0,019x + 2,2634$
H. Higroscópica VS Humedad Relativa	60 min	Lineal	$y = 0,0193x + 2,3724$
H. Higroscópica VS Humedad Relativa	24 horas	Lineal	$y = 0,0059x + 3,8048$
H. Higroscópica VS Humedad Relativa	24 horas + 24 horas ambiente	Lineal	$y = 0,0028x + 3,9171$

Fuente propia

CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Las siguientes son las principales conclusiones obtenidas a partir de este trabajo experimental:

- La humedad relativa genera un impacto significativo en las propiedades mecánicas de la matriz asfáltica fina evaluada.
- La conclusión que llegamos a obtener debido a la presente investigación es llegar a servir a diseñadores, constructores y supervisores, quienes deberán tomar en cuenta la humedad relativa del lugar en la que se vaya a emplazar el pavimento flexible, ya que esta humedad produce alteraciones en las propiedades mecánicas, como ser la disminución de su estabilidad y el aumento en su fluencia o deformación, es por eso que los técnicos tendrán que diseñar una mezcla que tenga una mayor estabilidad para que cuando esta sea puesta en la obra pierda la estabilidad sobrante adquiriendo la estabilidad solicitante por el tráfico de diseño.
- En las muestras fabricadas con un contenido de vacíos del 4% se evidencia que cuanto menor es el contenido de humedad relativa como ser de 57% al cual se expone la mezcla matriz asfáltica fina, el material presenta mayores valores de resistencia a la carga axial sometida 2.032,3lb y cuando la exponemos a una humedad relativa de 80% la muestra presenta una disminución en su estabilidad a 1.853,8 lb. Deduciendo que a una mayor humedad relativa tendremos una menor estabilidad en la matriz asfáltica fina
- También se observa que a una humedad relativa de 57 % la muestra tendrá un valor de fluencia de 3,36mm y a una de humedad relativa 80 % se obtiene un valor de fluencia de 3,78mm lo cual evidencia que existe una mayor deformación cuando la humedad relativa de contacto es mayor .
- Se llega a la conclusión de que al exponer la matriz asfáltica fina a un tiempo de contacto de 24 horas con la humedad relativa, se llega a tener un descenso en la estabilidad y un aumento en su deformación, pero esta alteración en sus propiedades mecánicas debido al contacto con la humedad relativa se produce solo una vez para luego estabilizarse.

- En cuanto a la incidencia del tiempo de contacto entre la matriz asfáltica fina y la humedad relativa se determina que a un mayor tiempo de contacto existirá una mayor influencia en las propiedades mecánicas de la muestra. Porque evidenciamos que cuando la muestra fue expuesta a un tiempo de contacto de 30 min con una humedad relativa de 57% nos da una estabilidad de 2.032,3lb y cuando la exponemos a un tiempo de contacto de 24 horas con la misma humedad relativa tenemos una estabilidad de 1.759,8 lb, mostrando la alteración en sus propiedades mecánicas de la matriz asfáltica fina, deduciendo que a un mayor tiempo de contacto entre la matriz asfáltica fina con la humedad relativa habrá una menor resistencia en la misma.
- En cuanto a la humedad higroscópica ganada por la muestra es de forma ascendente, ósea que a un mayor tiempo de contacto y humedad relativa mayor cantidad de humedad que absorbe la muestra.
- Las gráficas muestran resultados de cómo es influenciada la matriz asfáltica fina debido al tiempo de contacto con la humedad relativa, dándonos variaciones en sus propiedades mecánicas de la matriz, mostrándonos reducciones en su estabilidad y aumento en su fluencia de acuerdo a como comienza a subir el valor de la humedad relativa y el tiempo de contacto al que es expuesto.
- En las muestras que fueron influenciadas durante un tiempo de contacto de 24 horas y luego se las dejó reposar 24 horas en ambiente natural se muestra una estabilización en sus propiedades mecánicas dándonos resultados más homogéneos porque con una humedad relativa de 57% tenemos una estabilidad de 1.715,2 lb y una fluencia de 13.2 mm en cambio con una humedad relativa de 80% tenemos una estabilidad de 1.681,3 lb y una fluencia de 13.7 mm por lo que se observa que no existe gran variación debido a que la muestra adquiere o pierde humedad ambiental.
- La humedad higroscópica ganada por la muestra expuesta en un tiempo de contacto de 24 horas y luego se las dejó reposar 24 horas en ambiente natural no sufre grandes variaciones respecto de la humedad relativa mínima de 57% con la máxima de 80% dándonos valores de 4,08 gramos y 4,15 gramos, debido a que la muestra adquiere humedad del ambiente o viceversa pierde humedad debido a su porosidad, dotando a la muestra de una saturación homogénea.

4.2. Recomendaciones

Las recomendaciones que se debería tomar en cuenta para la realización de la práctica experimental son:

- Se recomienda que los técnicos constructores realicen una adecuada elección de los materiales pétreos para que estos cumpla con los requisitos determinados para el diseño de la mezcla asfáltica y por ende la realización de la matriz matriz asfáltica fina
- Se recomienda que el asfalto cumpla con las máximas especificaciones técnicas acordadas en su fabricación.
- Para el proceso de acondicionamiento de las muestras de matriz asfáltica fina dentro de los recipientes, se recomienda tomar en cuenta que no exista infiltración o contacto con la atmosfera, para que exista un control óptimo de la humedad relativa en contacto.
- Ni bien se extraigan las muestras de matriz asfálticas fina que fueron expuestas a una humedad relativa determinada, se recomienda proceder a la ruptura de la misma para que no exista una pérdida de humedad alguna.
- Se recomienda tener cuidado en el acondicionamiento del experimento para evitar que algún fluido con sales higroscópicas entren en contacto con la matriz asfáltica fina ya que esta cambiarias sus propiedades físico químicas.
- En el momento de tratar de recabar información de la humedad relativa del lugar a emplazar la obra, se recomienda tener cuidado con los datos recabados de humedad relativa, puesto que estos valores ya no sean representativos del lugar debido a los cambios climáticos que se ven en la actualidad.
- Finalmente debido a la investigación realizada y a los resultados obtenidos se recomienda que se debe tomar en cuenta la humedad relativa del lugar, para el diseño y construcción de una mezcla asfáltica tratando de encontrar una mayor estabilidad a la solicitante por el trafico promedio diario, ya sea alterando su dosificación, o implementando alguna aditivo, para poder llegar a cumplir con la vida útil del pavimento flexible para el que fue diseñado.