

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

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

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formadas por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas, estos polímeros se distribuyen en la matriz asfáltica y crea una red que aporta una serie de ventajas que no tienen los asfaltos convencionales.

La tecnología de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas ha sido una técnica ampliamente estudiada y utilizada. Con la adición de polímeros al asfalto se modifican las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente.

Siendo el objetivo principal del ingeniero diseñador de mezclas asfálticas mejorar el comportamiento estructural de los pavimentos y ofrecer comodidad y seguridad al usuario, se requiere buscar la forma de modificar las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica, lo que se consigue con la adición del polímero al asfalto.

Una gran parte de la red vial de Bolivia tiene problemas de gradientes térmicos, es decir, que en las madrugadas se alcanzan temperaturas muy bajas, y al contrario al medio día se alcanzan temperaturas altas a partir de 30 grados centígrados, la experiencia de Bolivia en lo referente al diseño y construcción de pavimentos con polímeros, es justamente para zonas de altura. Las soluciones se han ido planteado paulatinamente, en función a los resultados obtenidos.

El propósito de esta investigación es contribuir al mejoramiento de las mezclas asfálticas con la adición del polímero de residuos plásticos, que ayude a optimizar la calidad de la capa de rodadura.

El principal resultado a obtenerse es el diseño óptimo de una mezcla asfáltica con adición del polímero de residuos plásticos, con la utilización de agregados y asfaltos de buena calidad y una dosificación adecuada en el laboratorio.

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

1 1 DISEÑO TEÓRICO

1.1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Ante la necesidad creciente de contar con productos que tengan un mejor comportamiento bajo la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales, se han desarrollado procesos y fórmulas que permiten la fabricación de asfaltos de mayor durabilidad, mediante la adición de polímeros. Los aportes de los polímeros a la mejora de las propiedades de los asfaltos han sido ampliamente estudiados. Sin embargo, cada vez que sale al mercado un nuevo producto, es fundamental realizar un análisis exhaustivo de las mejoras que podría provocar dicho polímero al asfalto.

El problema surge porque hay algunas condiciones, sobre todo climáticas y de cargas que van evolucionando a mayores requerimientos a los pavimentos, el asfalto como aglutinante es un excelente material, pero en algunas zonas este asfalto convencional, no atiene estos requerimientos, estas propiedades originarias no son suficientes para poder resistir las temperaturas, cargas, etc. por lo tanto se debe ayudar a estos asfaltos, y esa es la tarea de los polímeros.

Esta plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de transito. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de trafico sobre los criterios de diseño vehicular unido al exceso

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

Por ejemplo los asfaltos convencionales, aun con los grados mas duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el transito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta. Además los asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de deformaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Una solución evidente fue mejorar las características de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos, ello dio origen a nuevos asfaltos que fueron denominados “asfaltos modificados”.

Esta investigación es importante, en razón de que es necesario estudiar y mejorar la preparación, cuanto también el uso y la durabilidad de los pavimentos, obteniendo mezclas resistentes a las deformaciones permanentes y fisuramientos, para lo cual se requiere la modificación de estas con la adición de elementos, como los polímeros no reutilizables producto de residuos electrónicos.

1.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Como afecta un asfalto 85/100 modificado con polímeros de residuos electrónicos a las propiedades de una mezcla asfáltica?

1.1.3 JUSTIFICACIÓN

El conocimiento de la problemática vial del país y específicamente de los problemas que presenta el mal estado de las carreteras en varias zonas, se propone realizar una investigación sobre las modificaciones que se puede realizar al asfalto con polímeros, para con esto lograr como resultado una mejor calidad de mezclas asfálticas, por ende obtener capas de rodadura de alta calidad con costos razonables y proveer una alternativa útil los profesionales que se dedican a la construcción de carreteras de pavimento en Bolivia.

En Bolivia, se utiliza pavimento asfáltico, en la construcción y operación de un significativo número de carreteras, las mismas que son un tema de gran importancia nacional.

Lamentablemente las obras viales en su conjunto, el funcionamiento de las mismas y particularmente las capas de rodadura, presentan problemas recurrentes y críticas generalizadas de los usuarios por las dificultades que ocasiona el tráfico vehicular, desembocando en frecuentes reparaciones, daños prematuros de calzadas, y el uso de altos presupuestos para el mantenimiento y conservación vial, razón que justifica la búsqueda de polímeros que modifiquen la mezcla asfáltica, como una posible solución de incrementar los periodos de duración vial.

Son muchos los factores y causas que intervienen en los problemas de los pavimentos asfálticos y su buen funcionamiento, pero no se puede desconocer que los porcentajes (%) mas altos están relacionados con la calidad de materiales componentes, la preparación de los mismos y los procedimientos constructivos, contrariamente a esta realidad en Bolivia se registran pocos estudios relacionados con algunas de estas causas, se conoce poco acerca de la existencia de un estudio sobre la modificación con polímeros a los asfaltos en el comportamiento y resistencia real de los pavimentos asfálticos de nuestras carreteras, razón por la cual se quiere aportar con nuevas y mejores maneras de conformar una mezcla asfáltica que en un futuro permitan mejorar las vías y prolongar los tiempos de uso y duración.

1.1.4 OBJETIVOS:

1.1.4.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento del asfalto 85/100 con polímeros de residuos no reutilizables producto de residuos electrónicos, mediante pruebas que se desarrollen en laboratorio, con la finalidad de conocer si existen mejoras que provoca dicho polímero a sus propiedades y características.

1.1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar los efectos de los polímeros de residuos no reutilizables producto de residuos electrónicos en el comportamiento del asfalto 85/100.
- Evaluar el uso y utilización de los polímeros de residuos no reutilizables producto de residuos electrónicos para formar asfaltos modificados.
- Caracterizar al cemento asfáltico convencional 85/100.
- Realización de los ensayos de laboratorio con asfalto 85/100 y con el polímero, para determinar sus características y propiedades.
- Obtener resultados sobre el efecto de asfaltos modificados con polímeros de residuos no reutilizables producto de residuos electrónicos.
- Realizar un análisis de resultados de la investigación.
- Establecer conclusiones y recomendaciones sobre la investigación realizada.

1.1.5 HIPÓTESIS:

Si modificamos un asfalto 85/100, con diferentes porcentajes de residuos electrónicos entonces se podrá obtener valores Marshall variados logrando determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una combinación de agregados.

1.1.6 ALCANCE

Como se mencionó anteriormente, una de las líneas importantes de esta investigación en materiales asfálticos consiste en describir el comportamiento del asfalto 85/100 sin polímero y modificado con polímero de residuos electrónicos, como alternativa de solución al problema de vialidad, para que en un futuro se pueda lograr la construcción de vías de comunicación de mejor calidad y mayor durabilidad.

El desarrollo de la investigación se llevara a cabo en las instalaciones del laboratorio de asfaltos de la UAJMS, planta de asfaltos de la empresa ERIKA S.R.L ubicado en la carretera Padcaya-Cañas, donde se proporcionara el equipo necesario para realizar los ensayos.

Se realizara los ensayos correspondientes a la determinación de la calidad de los materiales, corresponderán nada mas a aquellos que sean de utilidad para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Se procederá a realizar ensayos Marshall para el asfalto convencional y modificado con 5%, 10%, 15% de polímero no reutilizables producto de residuos electrónicos.

También se estudiara el uso de los polímeros para la modificación del asfalto ya que presenta una alternativa de solución para el problema del pavimento asfáltico en nuestro país, uno de los problemas más comunes a nivel mundial.

1.1.7 METODOLOGÍA

La investigación abarca desde la caracterización de los materiales, el diseño y estudio de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas mejoradas con polímeros no reutilizables producto de residuos electrónicos, y la evaluación de las mejoras en la vida útil del pavimento. Para el mejoramiento de las mezclas asfálticas se estudiara la incorporación del polímero en el ligante asfáltico.

Para llegar a obtener la mezcla óptima se procederá de la siguiente manera:

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del ligante asfáltico mediante los ensayos Viscosidad, Penetración, Punto de Reblandecimiento, Ductilidad, Punto de Inflamación y Peso Especifico, los cuales serán realizados con sus respectivas normas.

- Determinar las características y propiedades de los agregados a utilizarse realizando los ensayos como son: Porcentaje de Caras Fracturadas, Equivalente de Arena, Peso Específico, Absorción y Granulometría los mismos que serán realizados con sus respectivas normas.
- Se diseñara una mezcla asfáltica convencional sin ninguna adición de polímero por el Método Marshall¹, la cual servirá de base para las posteriores modificaciones y obtener el porcentaje óptimo de asfalto.
- Se procederá a incorporar un cierto porcentaje de polímero no reutilizables producto de residuos electrónicos diferentes mezclas.
- En las mezclas obtenidas tanto convencional como modificadas se procederán a realizar el ensayo: Marshall, regido por su respectiva norma.

1.1.8 DEFINICIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

1.1.8.1 Variable dependiente.

Propiedades físico-mecánicas que se modificaran mediante ensayos y pruebas de laboratorio, que se realizaran (viscosidad, penetración, ductilidad, destilación), (Marshall).

1.1.8.2 Variable independiente

Porcentajes de polímeros de residuos no reciclables.

1.2 DISEÑO METODOLÓGICO

1.2.1 Unidad de estudio y decisión muestral

Asfalto convencional 85/100 a ser modificado.

1.2.2 Métodos técnicas y procedimientos

¹ Asphalt Intitute Serie de Manuales No 22(MS-22).Principios de Construcción de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente.

Experimentales:

Se realizarán ensayos que se desarrollen en laboratorio y muestren el efecto del asfalto modificado con polímeros no reciclables.

1.2.2.1 Ensayos en agregado y en el ligante asfáltico

Ensayos en los agregados (ASTM C-131).

- Ensayo de desgaste de los ángeles (ASTM C-131).

Este ensayo se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.

Equipo

- Balanza A \pm 0.1gr.
- Horno.
- Tamices (3/4", 1/2", 3/8" 1/4" N°4).
- Máquina de los Ángeles.
- Esferas de acero de diámetro 46.38mm y peso 390gr.
- Agregado grueso de la chancadora Tacuara Empresa ERIKA SRL.

Procedimiento.

La muestra de ensayo consiste en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante, separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas en la Figura N° 1.1. El tipo de abrasión que se realizara será de tipo B y C. La muestra antes de ensayarla será pesada con aproximación de 1 g.

La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 r.p.m.); el número total de vueltas será 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material

del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en un tamiz más grueso que el de 1.70 mm (No.12). La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No.12) El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No.12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110°C (221 a 230°F), y se pesa con precisión de 1 g.

Figura N° 1.1 Cilindro mecánico para realizar la prueba de desgaste de los ángeles



Fuente: laboratorio de suelos U.A.J.M.S

Figura N° 1.2 Separando el material fino con tamiz N°12



Fuente: Laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S

Figura N° 1.3 Cantidades mínimas para ensayo según el tamaño nominal.

MÉTODO		A	B	C	D
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
Pasa	Retenido				
1 ½"	1"	1 250±25			
1"	¾"	1 250±25			
¾"	½"	1 250±10	2 500±10		
½"	3/8"	1 250±10	2 500±10		
3/8"	¼"			2 500±10	
¼"	Nº4			2 500±10	
Nº4	Nº8				5 000±10
PESO TOTAL		5 000±10	5 000±10	5 000±10	5 000±10
Nº de esferas		12	11	8	6
Nº de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación, min.		15	15	15	15

Fuente: Manual de carreteras

➤ **Peso específico del agregado fino (ASTM D-128).**

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

Equipo

- Balanza A ± 0.01gr.
- Tamiz Nº 4.
- Matraz aforado.
- Molde cónico.
- Varilla para apisonado.
- Bandeja.
- Baño de agua.
- Agregado fino de la chancadora tacuara.

Procedimiento.

Se debe primeramente homogeneizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior a 4.75 mm (tamiz No.4), se selecciona, por cuarteo, una cantidad de aproximadamente 1000 g, que se seca en el horno a 100 - 110°C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el

secado hasta lograr peso constante. A continuación se cubre la muestra completamente con agua y se la deja así sumergida durante 24 ± 4 horas.

Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de desecar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente, mientras se agita continuamente para que la desecación sea uniforme, y continuando el secado hasta que las partículas puedan fluir libremente.

Para fijar este punto, cuando se empiece a observar visualmente que se está aproximando el agregado a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, echando en su interior a través de un embudo y sin apelmazar, una cantidad de muestra suficiente, que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando a continuación, con cuidado, verticalmente el molde. Si la superficie de las partículas conserva aún exceso de humedad, el cono de agregado mantendrá su forma original, por lo que se continuará agitando y secando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial, indicativo de que finalmente ha alcanzado el agregado la condición de superficie seca.

Figura N° 1.4 Agregado esta en su condición saturado superficialmente seco

Fuente: Laboratorio de suelos de U.A.J.M.S



Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 500.0 g del agregado fino, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 por ciento de su capacidad; para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, e incluso agitando o invirtiéndolo si es preciso, introduciéndolo seguidamente en un baño de agua a una temperatura de 25°C , durante 1 hora, transcurrida la cual se enrasa con agua a igual temperatura, se saca del baño, se seca rápidamente su superficie y se determina su peso total (picnómetro, muestra y agua, con una aproximación de 0.1 g.

➤ Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM D-127).

Este ensayo sirve para determinar los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz No.4)

Equipo

- Balanza A \pm 0.01gr.
- Tamiz No.4.
- Canastilla metálica.
- Dispositivo de suspensión.
- Agregado grueso chancadora tacuara.

Procedimiento.

Se comienza por mezclar completamente el agregado, cuarteándolo a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después

de eliminar el material inferior a 4.75 mm., en este caso al tener un tamaño nominal de $\frac{3}{4}$ pulg, la cantidad de la muestra es de 3kg.

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en un horno a 100°-110°C y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante 24 ± 4 horas.

Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación de la superficie de los agregados. A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (S.S.S.).

Figura 1.5 Se muestra el agregado sumergido en agua, la toalla para secar la muestra una sesta para pesar el suelo saturado superficialmente seco bajo el agua, y un tanque de agua



Fuente: Laboratorio de suelos de U.A.J.M.

➤ Ensayo de Durabilidad, pérdida con sulfato de sodio AASHTO M 92

Este método cubre los procedimientos a ser seguidos en ensayos de agregados para determinar su resistencia a la desintegración por soluciones saturadas de sulfato de sodio. Esto es hecho por la inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido por secado en horno para una deshidratación parcial o completa de la sal precipitada, en espacios permeables de los poros. La fuerza interna expansiva, derivada de la rehidratación de la sal en la reinmersión, simula la expansión de agua en el congelamiento. Este método de ensayo provee información útil para juzgar la calidad de agregados sujetos a la acción del clima, particularmente cuando la información adecuada no está disponible en un servicio de registros del material expuesto para las condiciones reales de desgaste. Se llama la atención al hecho que los resultados de ensayos por el uso de las dos sales difieren considerablemente y se debe tener cuidado en fijar límites correctos en cualquier especificación que incluya requisitos para estos ensayos.

Equipo

Tamices: Con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños de acuerdo con AASHTO M 92.

Contenedores para muestras: Tamices de 203.2 mm (8 pulg) de diámetro para cada fracción separada según el tamaño del agregado durante el ensayo. Tamices fuera de la tolerancia según la especificación AASHTO M 92, en condición aceptable, pueden ser utilizados como contenedores

Agregado grueso: Chancadora tacuara

Agregado fino: Chancadora tacuara

Equipo para Sumergir muestras en soluciones (opcional). — Cuando sea necesario, el equipo para retener los tamices conteniendo la muestra por inmersión en solución, se construirán de tal modo que permitan el libre acceso de la solución a la muestra y drene la solución de la muestra.

Regulación de temperatura: Se proveerá la manera adecuada para regular la temperatura de las muestras durante la inmersión en solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Termómetro: Un termómetro que abarque el rango de temperatura recomendado para soluciones durante el ensayo y con una escala de $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0.2\text{ }^{\circ}\text{F}$).

Registrador de temperatura: Una unidad capaz de registrar la temperatura de la solución un mínimo de una vez cada 10 minutos durante el ensayo con una exactitud de $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0.5\text{ }^{\circ}\text{F}$).

Balanza: La balanza tendrá suficiente capacidad, para leer al 0.1 por ciento de la masa de la muestra, mayor precisión, y estará de acuerdo a los requisitos de la especificación AASHTO M 231

Horno para secar: El horno será capaz de calentarse continuamente a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$) y la razón de evaporación, en este rango de temperatura, será de por lo menos 25 g/h por 4 horas, mientras las puertas del horno se mantengan cerradas.

Preparar la solución para sumergir las muestras de ensayo, ya sea de sulfato de sodio o de magnesio. El volumen de la solución será como mínimo cinco veces el volumen sólido de todas las muestras sumergidas de una sola vez.

Sumergir las muestras en la solución preparada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio por no menos de 16 horas y no más de 18 horas de tal manera que la solución cubra una profundidad de al menos 12.5 mm (1/2 pulg). Cubrir los contenedores para reducir la evaporación y prevenir la adición accidental de sustancias extrañas.

Mantener la muestra sumergida en la solución a una temperatura de 20.3 a 21.9 ° C (68.5 a 71.5 ° F) para el período de inmersión.

Después del período de inmersión, remover la muestra de agregado de la solución, permitir el drenaje por 15 ± 5 minutos, y colocarla en el horno secador. La temperatura del horno será puesta previamente a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Secar las muestras a la temperatura especificada hasta obtener una masa constante. Establecer el tiempo requerido para lograr una masa constante como sigue: Con el horno conteniendo la máxima carga de muestra esperada, comprobar la pérdida de masa de las muestras de ensayo removiéndolas y pesándolas sin enfriar, a intervalos de dos a cuatro horas; hacer suficientes chequeos para establecer el tiempo de secado requerido cuando se encuentren en una mínima condición favorable el horno Se considerará que una masa constante es lograda cuando la pérdida de masa es menor de 0.1 por ciento de masa de la muestra en cuatro horas de secado. Después de que la masa constante haya sido lograda, permitir que la muestra se mantenga de 20 a 25 ° C (68 a 77 ° F), cuándo sean sumergidas otra vez en la solución preparada El enfriamiento puede ser ayudado por el uso de un aire acondicionado o un abanico. La temperatura del material será comprobada por termómetro u otro medio aceptable antes de colocar el material en la solución de remojo.

Después que el sulfato de sodio o sulfato de magnesio ha sido removido, secar cada fracción de la muestra hasta alcanzar una masa constante a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F).

Tamizar el agregado fino sobre el mismo tamiz en el cual fue retenido antes del ensayo, y tamizar el agregado grueso sobre el tamiz adecuado para el tamaño apropiado de partícula. Para el agregado fino, el método y la duración del tamizado serán los mismos que fueron usados en la preparación de la muestra de ensayo.

Para agregado grueso, el tamizado será a mano, con agitación suficiente sólo para asegurar que todo material de tamaño inferior pasa el tamiz designado. No debe haber extremada manipulación para romper las partículas u obligarlas a que ellas pasen los tamices. Determinar la masa del material retenido en cada tamiz y registrar su cantidad.

La diferencia entre cada una de estas cantidades y la masa inicial de la fracción de la muestra ensayada es la pérdida en el ensayo y debe estar expresada como un porcentaje de la masa inicial.

➤ Equivalente de arena (ASTM D-2419).

Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo.

Equipo

- Cilindro graduado de plástico, con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm ($1\frac{1}{4} \pm 0.015$ ") y altura de 431.8 mm (17") aproximadamente, graduado en espacios de 2.54 mm (0.1"), desde el fondo hasta una altura de 381 mm (15").
- Tapón macizo de caucho.
- Tubo irrigador.
- Tubo flexible de plástico.
- Un botellón de 3.785 litros.
- Dispositivo para tomar lecturas.
- Recipiente metálico.
- Embudo de boca ancha.
- Cronómetro.
- Tamiz N° 4.

- Solución (Cloruro de Calcio).
- Agregado fino (chancadora tacuara).

Procedimiento.

Antes de seleccionar la muestra de ensayo se deben desmenuzar todos los terrones de material fino, y pasar por el tamiz de 4.75 mm (No.4), Verter la solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro graduado, hasta una altura de 101.6 ± 2.54 mm (4 ± 0.1 ").

Con ayuda del embudo, se vierte la muestra de 50 gr de arena en el cilindro graduado. Golpear varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente. Dejar en reposo durante 10 ± 1 minuto.

Al finalizar los 10 minutos (periodo de humedecimiento), tapar el cilindro con un tapón y soltar el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez.

Después de soltar el material del fondo, agitar el cilindro, hasta completar 100 ciclos tal como se puede observar en la figura 4.19.

Figura N° 1.6: Agitado de muestra



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Inmediatamente después de la operación de agitación, colocar el cilindro verticalmente sobre la mesa de trabajo y remover el tapón.

Procedimiento de irrigación.

Durante el procedimiento de irrigación mantener el cilindro vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo. Colocar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, aflojar la pinza de la manguera y lavar el material de las paredes del cilindro a medida que baja el irrigador, el cual debe llegar a través del material, hasta el fondo del cilindro, aplicando suavemente una acción de presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador. Esto impulsa hacia arriba el material fino que esté en el fondo y lo pone en suspensión sobre las partículas gruesas de arena, se debe llenarlo hasta 15” (ver figura N° 1.7).

Figura N° 1.7: Adición de cloruro de calcio



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Dejar el cilindro y el contenido en reposo por $20 \text{ min} \pm 15\text{s}$. Comenzar a medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

Al finalizar los 20 min del periodo de sedimentación, leer y anotar el nivel de la parte superior de la suspensión arcillosa (ver Figura N° 1.8).

Figura N° 1.8: Tomando lectura de arcilla



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Este valor se denomina "lectura de arcilla".

Determinación de la lectura de la arena.

Después de tomar la lectura de arcilla, introducir dentro del cilindro el conjunto del disco, la varilla y el sobrepeso , y bajar suavemente el conjunto hasta que llegue sobre la arena.

Cuando el conjunto toca la arena, leer y anotar el de la ranura del tornillo, la cual se denominará "lectura de arena" (ver Figura N° 1.8).

Ensayos en el cemento asfáltico

- Ensayo de peso específico (ASTM D-70).

Se entiende como peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C.

Además de dar una identificación de la calidad y origen del material, el peso específico es útil para determinar el peso por unidad de volumen de un ligante calentado a la temperatura de aplicación.

Equipo

- Picnómetro.
- Baño de agua.
- Termómetro.
- Recipiente de vidrio boca ancha de 600ml.
- Balanza $A \pm 0.01\text{gr}$.
- Agua destilada.
- Asfalto.

Procedimiento.

Calibración del picnómetro: Se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón con el líquido de limpieza, enjuagándolo a continuación con agua destilada y secándolo finalmente. Esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración, o bien cuando se observe cualquier falla en el escurrimiento uniforme de los líquidos, en las paredes interiores del picnómetro o en el capilar del tapón.

Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa con aproximación de 1 mg. El peso del picnómetro vacío, se designa por A. Se seca el vaso del baño y se llena el picnómetro con agua destilada, colocando suavemente el tapón, sin apretarlo. Se sumerge completamente el picnómetro en el vaso y se aprieta entonces el tapón, no debiendo quedar burbujas de aire ocluidas en el picnómetro en esta operación. El vaso con el picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua a 25 °C.

Se deja el picnómetro en el interior del vaso por un mínimo de 30 minutos, se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón pasando suavemente y una sola vez un paño seco por la misma; a continuación, se seca rápidamente el resto del picnómetro y se pesa con aproximación de 0.1 mg. El peso del picnómetro lleno de agua, se designa por B.

Preparación de la muestra: Calentar con cuidado la muestra, agitándola para evitar sobrecalentamientos locales hasta que llegue a ser suficientemente fluida para que pueda ser vertida. La muestra debe ser representativa de la existente en el laboratorio y deberá ser homogénea y no estar contaminada.

Verterlo una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Tomar precaución para evitar que el material se ponga en contacto con las paredes del picnómetro por encima del nivel final y para evitar la inclusión de burbujas de aire. Dejar enfriar el picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y pesar con el tapón (ver figura N° 1.9), con aproximación a 1 mg. El peso del picnómetro con la muestra, se designa como C.

Figura N° 1.9: Pesando el conjunto picnómetro + asfalto



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. No deben permitirse burbujas de aire en el picnómetro. Colocar el picnómetro en el vaso y apretar firmemente el tapón. retornar luego el vaso al baño de agua a 25° C.

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante un período no menor de 30 minutos (ver Figura N°1.10). Sacar y pesar, este peso del picnómetro con la muestra y con agua, se designa como D.

Figura N° 1.10: Baño de agua a 25°C conjunto picnómetro + asfalto +agua.



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

➤ Ensayo de penetración (ASTM D-5).

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C (77°F) durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.

Equipo

- Penetrómetro.
- Aguja de penetración.
- Recipiente o molde para la muestra.
- Baño de agua María.
- Dispositivo medidor de tiempo.
- Termómetro.
- Espátula
- Asfalto

Procedimiento.

Preparación de la muestra: Se toma las precauciones necesarias para que la muestra del ensayo sea verdaderamente representativa, de aspecto homogéneo y sin contaminación.

De la muestra de laboratorio, se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 g de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas. Se preparará un total de dos moldes por cada muestra de material y ensayo de iguales características.

Después de llenar los moldes, se cubren con un vaso de vidrio invertido, de dimensiones apropiadas, para protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y se dejan enfriar al aire a una temperatura entre 20° y 30°C, (68° y 86°F), por un período entre 1 y 1.5 horas. Finalmente, se sumergen los recipientes en el baño de agua maría a la temperatura de 25 °C (ver figura N° 1.11), manteniéndolos así durante los mismos períodos de enfriamiento.

Figura N°1.11: Preparacion de muestras



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Ejecución del ensayo: Primero se comprueba que el vástago soporte de la aguja está perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía. La aguja de penetración se limpia con un disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, fijándola firmemente en su soporte.

Una vez transcurridos los tiempos de inmersión, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre. Se anota la lectura o se pone en cero el penetrómetro y se suelta

seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado (ver Figura N° 1.12). Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Figura N° 1.12: Penetracion de muestras



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Se realizarán al menos tres penetraciones en cada recipiente, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm (3/8") entre sí y de las paredes del recipiente. Después de cada penetración, se desmonta y saca la aguja y se limpia cuidadosamente con un trapo limpio y seco.

➤ Ensayo de punto de ignición (ASTM D-92).

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el ligante asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

Equipo

- Aparato de copa abierta Cleveland.

- Termómetro.
- Asfalto

Procedimiento:

Llenar la copa a cualquier temperatura que no exceda de 100°C (180°F) por encima el punto de ablandamiento de la muestra de tal manera que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado (ver Figura N°1.13), encender la llama de ensayo y ajustar el diámetro.

Figura N°1.13: Preparacion del equipo y muestra



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Se aplica calor inicialmente de tal manera que el incremento de temperatura de la muestra sea de 14 a 17°C (25 a 30°F) por minuto. Cuando la temperatura de la muestra sea de aproximadamente 56°C (100°F) por debajo del punto de llama esperado, se disminuye el calor de manera que la temperatura se aumente, para los últimos 28°C (50°F) antes de llegar al punto de inflamación, en 5 a 6°C (9 a 11°F) por minuto.

Por lo menos a 28°C (50°F) bajo el punto de inflamación, se empieza a aplicar la llama de ensayo, una vez por cada aumento de 2°C (5°F). Pasar la llama de ensayo a través del centro de la copa (ver Figura 1.13)

Se registra como punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el termómetro cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie. No debe

confundirse la llama verdadera con el halo azulado que algunas veces rodea la llama de ensayo.

Para determinar el punto de combustión, se continúa calentando la muestra de tal manera que la temperatura se aumente a una rata de 5 a 6°C (9 a 11°F) por minuto. Continuar la aplicación de la llama de ensayo, hasta que el aceite se encienda y permanezca quemándose por lo menos durante 5 segundos. Se regístrese la temperatura en este punto, como el punto de combustión.

➤ Ensayo de ductilidad (ASTM D-113).

El ensayo de ductilidad, da la distancia en centímetros que una muestra normalizada de ligante asfáltico puede alargarse antes de que se rompa en dos. La ductilidad es medida en un equipo denominado “ductilómetro” mediante una prueba de “extensión” en donde una probeta de ligante asfáltico es extendida o estirada a una velocidad de 5 Cm/minuto, en un baño de agua de igual densidad y una temperatura $25^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Equipo

- Moldes.
- Placa.
- Baño de agua.
- Ductilómetro.
- Termómetro.
- Espátula
- Asfalto

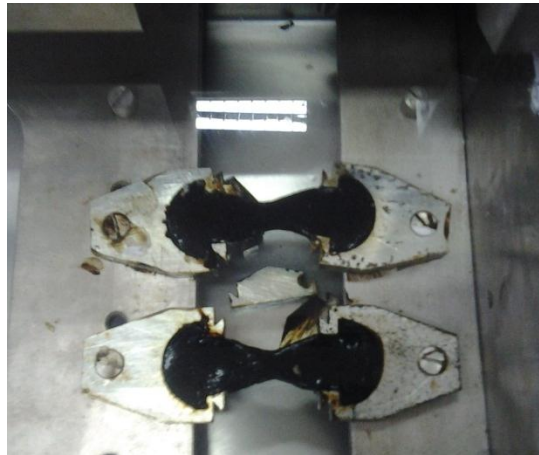
Procedimiento.

Preparación de las probetas: La placa con el molde se colocan sobre una superficie horizontal, debiendo comprobarse que todas las piezas del molde apoyen completamente sobre la placa.

El material asfáltico se calienta cuidadosamente, agitándolo en cuanto su consistencia lo permita para prevenir los sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluido para verterlo en los moldes.

El llenado en los moldes se hará con cuidado, procurando no distorsionar el correcto montaje de sus piezas, vertiendo el material en forma de chorro fino en un recorrido alternativo de extremo a extremo, hasta que se llene completamente y con un ligero exceso(ver Figura 1.14), evitando la inclusión de burbujas de aire.

Figura N° 1.14: Preparacion de probetas



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

La probeta, dentro del molde y protegida del polvo, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos, sumergiéndola a continuación en el baño de agua a la temperatura de 25°C durante otros 30 minutos. Seguidamente se quita el exceso de material del molde con una espátula recta caliente, hasta dejar la probeta perfectamente enrasada.

El conjunto de la placa, molde y probeta se introduce de nuevo en el baño de agua, manteniéndolo a la temperatura de 25°C, con una variación máxima de 0.1°C, (0.2°F), durante un tiempo comprendido entre 85 y 95 minutos. A continuación, se retira la placa del molde, se quitan las piezas laterales y se da comienzo al ensayo.

Ejecución del ensayo: La probeta se monta en el ductilómetro, introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijo y móvil en los correspondientes orificios de cada pinza, poniendo a continuación en marcha el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad especificada (ver Figura N° 1.15), hasta que se produzca la rotura

midiéndose la distancia en cm que se hayan separado ambas pinzas hasta este instante.

Figura N° 1.15: Muestras estiradas antes que se rompan



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

El material asfáltico entre las pinzas se va paulatinamente estirando hasta formar un hilo, produciéndose la rotura en un punto en el que el hilo no tiene apenas sección transversal. Si durante el ensayo, el material bituminoso al estirarse tiene tendencia a subir hasta la superficie del agua o tocar la placa de fondo del ductilómetro, deberá ajustarse la densidad relativa del agua a la del material ensayado, añadiendo cloruro de sodio, hasta conseguir que el hilo quede lo más recto posible, sin elevarse o descender.

➤ Ensayo de viscosidad saybolt-furol (ASTM E-102).

Este ensayo se emplea normalmente para cementos asfálticos, emulsiones y aceites y sirve para determinar el tiempo en segundos, necesarios para que pasen 60 centímetros cúbicos de líquido, a una temperatura determinada, a través de un tubo de dimensiones específicas.

En esta investigación al tratarse de un cemento asfáltico se determinara a una temperatura de 135 °C.

Equipo

- Viscosímetro Saybolt.

- Frasco calibrado para recibir la muestra de 60 cm³.
- Termómetros.
- Cronómetro A ± 1s.
- Pipeta de 2mm de diámetro interior.

Procedimiento.

Se comienza el ensayo limpiando perfectamente el recipiente con un disolvente eficaz, por ejemplo, gasolina, teniendo cuidado de que no quede disolvente en el interior del cilindro.

Se hace pasar la muestra a través de un tamiz # 100 antes de echarla en el recipiente. Se hecha en el recipiente ya limpio una cantidad de muestra que sea suficiente para mojar completamente su superficie dejando que fluya el exceso. Se coloca el tapón en la parte inferior del tubo de salida, de manera que quede introducido más de 6.3 mm. y menos de 9.5 mm. El tapón debe entrar suave, pero haciendo un cierre hermético para evitar que se escape el aire de la parte inferior del recipiente.

Si la temperatura a la que se va a realizar el ensayo es superior a la del ambiente, se calentará la muestra a una temperatura de 1 ó 2 grados por encima de la del ensayo y, si es inferior se enfriará la muestra a 1 ó 2 grados por debajo de la temperatura a la que se va a ensayar. En ningún caso se calentará la muestra a una temperatura superior a 27,8 ° C por debajo de su punto de inflamación.

Se vierte la muestra en el tubo hasta que deja de rebosar dentro del cilindro de rebose tras lo cual se mantendrá bien revuelta por medio del termómetro. La temperatura del baño se debe graduar hasta que la temperatura de la muestra dentro del tubo sea constante

Después que la temperatura de la muestra ha permanecido constante con un error de ± 0.05 ° C durante un minuto con agitación constante se saca el termómetro se limpia el exceso de muestra del cilindro de rebose por medio de la pipeta, pero teniendo cuidado de no golpear el rebosadero. En caso de que éste sea golpeado, se deberá recoger el ensayo. La punta de la pipeta deberá mantenerse en un punto fijo dentro

del cilindro de rebose y en ningún caso se removerá el exceso de muestra rotando la pipeta alrededor de aquel.

Se coloca el frasco calibrado de 60 cm³ en una posición tal que quede centrado con respecto al orificio de salida y que el material al fluir no toque las paredes del frasco. La graduación quedará situada a una distancia comprendida entre 10 y 13 cm. respecto del fondo del baño.

El ensayo se empieza sacando rápidamente el tapón del corcho del tubo, poniendo en marcha al mismo tiempo el cronómetro. Se para el cronómetro cuando la parte inferior del menisco alcanza la graduación del cuello del frasco calibrado.

➤ Ensayo de punto de reblandecimiento anillo y bola (ASTM D-36).

Este ensayo mide de forma indirecta la consistencia y equivale a una temperatura de equiviscosidad en las condiciones de ensayo. Junto a la penetración a 25° C, permite calcular el índice de penetración y estimar mediante su valor la susceptibilidad de los asfaltos.

Equipo

- Anillos, de bronce, de bordes cuadrado.
- Platos de base.
- Esferas de acero de 9.5mm de diámetro, peso de cada una 3.5 gr.
- Guías de contacto de las bolas.
- Recipiente de vidrio capacidad 800 ml.
- Soporte de anillos y montaje completo.
- Termómetro.
- Agua destilada.
- Asfalto.

Procedimiento.

Preparación de muestras.- Calentar la muestra de material en forma cuidadosa, agitándola frecuentemente para evitar sobrecalentamientos localizados, hasta asegurar que esté suficientemente fluida para poderla verter. Al agitarse, deberá evitarse la formación de burbujas.

Calentar los dos anillos de bronce sin el plato de base, aproximadamente a la misma temperatura del producto asfáltico, y colóquense sobre el plato de base, tratado con un agente aislante.

Verterlo, con un ligero exceso, el producto bituminoso dentro de los anillos (ver Figura N° 1.16), y dejar enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos.

Figura N°1.16: Preparacion de muestra en los anillos de bronce



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Hacer el montaje de los aparatos, colocando los anillos con las muestras, las guías para las bolas y los termómetros en posición, y llenar el baño con agua destilada hasta una altura de 105 ± 3 mm.

Usando unas tenazas apropiadas, colocar las dos bolas en el fondo del baño para que adquieran la misma temperatura de iniciación que el resto del montaje.

Colocar todo el conjunto del baño, en agua con hielo (ver Figura N° 1.17).

Figura 1.17: Bajando la temperatura de todo el conjunto del aparato y muestras



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Calentar el baño en forma pausada, para asegurar que la rata de elevación de la temperatura sea constante a 5°C (9°F)/minuto Anotar, la temperatura indicada por el termómetro en el momento en que el producto bituminoso rodeando la bola, toca el fondo del baño (ver Figura N° 1.18).

Figura N° 1.18: Punto de reblandecimiento (Metodo Anillo y Bola)



Fuente: Laboratorio de asfaltos U.A.J.M.S

Ensayos sobre la mezcla asfáltica

➤ Granulometría AASTHO T27

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar los gránulos de que está formado según su tamaño, esta separación se hace mediante una colección de tamices de malla cuadrada.

Equipo

- Balanza A \pm 0.01 gr.
- Tamices de malla cuadrada (1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°80, N°100, N°200.)
- Bandejas metálicas.
- Cepillo de acero.
- Brocha.
- Agregado fino de la chancadora tacuara.
- Agregado grueso de la chancadora tacuara.

Procedimiento.

Granulometría agregado Grueso (Chancadora Tacuara).

Primeramente se efectúa un muestreo para el agregado grueso mediante el cuarteo, que consiste en colocar a la muestra en el separador para obtener una muestra representativa que abarque el mayor tamaño de partículas.

La muestra escogida de agregado grueso se coloca en una bandeja para determinar la masa de la bandeja y la muestra.

Figura N°1.19 Cuarteo de muestras



Fuente: Laboratorio de suelos U.A.J.M.S

Tomamos la muestra, se coloca sobre la torre de cedazos conformado por los tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°80, N°100, N°200, inmediatamente con movimientos circulares facilitamos que las partículas puedan retenerse o pasar en cada uno de los tamices.

Los resultados del ensayo se dan en porcentajes del peso total del material que pasa cada tamiz de dimensiones conocidas, para lo cual se pesan las respectivas cantidades

retenidas y sumadas en forma acumulativa a las anteriores de tamaño mayor, estos pesos acumulados se divide para el peso total de la muestra ensayada y se multiplica por 100. La diferencia a 100 de cada uno de estos porcentajes acumulados nos da el porcentaje que deja pasar el tamiz correspondiente.

Granulometría agregado Fino (Chancadora Tacuara).

Se realiza un muestreo mediante el cuarteador y se determina la masa del agregado fino, así como del recipiente que lo contiene.

Colocamos los tamices en orden de modo que el tamaño de abertura de los mismos sea decreciente, estos tamices van estar ordenados así: 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°100, N°200, y la bandeja.

Colocamos la muestra en esta columna que dormán los tamices y lo tamizamos, una vez realizado este proceso, retiramos los tamices y recogemos la muestra de arena retenida en cada tamiz, para ello nos ayudamos de un cepillo de acero.

Recogida la muestra determinamos su masa de cada tamiz retenido y la sumatoria de la muestra recogida en cada tamiz deberá ser igual a la masa total de la muestra antes de ser tamizada, los resultados de este ensayo se dan igual que el agregado grueso en porcentajes.

➤ Mezcla de agregados:

En la fabricación de carpetas asfálticas, es importante emplear áridos de granulometría correcta porque entonces se conseguirá una carpeta de rodadura de buena calidad y una economía de ligante. La calidad del agregado está condicionada al cumplimiento de un conjunto de especificaciones entre las que se encuentra el % de vacíos, el % vacíos rellenos de asfalto, la estabilidad, la fluencia, etc. Y todas están íntimamente relacionadas con la granulometría.

En el análisis de materiales pétreos para bases, sub-bases, pavimentos asfálticos muchas veces es preciso formar mezclas de dos hasta cinco tipos de materiales pétreos en los siguientes casos:

-Cuando uno o más de los materiales no cumplen especificaciones de granulometría.

-Cuando en un banco o mina de materiales no exista la cantidad suficiente como para abastecer una gran demanda y

-Cuando los materiales son obtenidos por trituración y se requiere formar una granulometría especificada.

El procedimiento general consiste en obtener la granulometría de cada uno de los materiales a mezclarse y calcular el porcentaje que se precisa de cada uno para obtener una granulometría deseada.

En la presente investigación se realizará la mezcla de agregados con tres tipos de materiales, el agregado fino, con el agregado intermedio y grueso de la chancadora tacuara , para la cual se ha determinado que la faja granulométrica para la realización de la mezcla asfáltica, esta faja se la eligió en consideración de que los materiales que se disponía, tanto para el agregado grueso como para el fino se ajusta a las exigencias de la ABC, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 40 por ciento de agregado grueso 17 por ciento de agregado intermedio, arena triturada de 43 por ciento, para la granulometría de la mezcla.

➤ Diseño de mezcla asfáltica

Se han desarrollado algunos métodos de proporcionamiento de asfalto y agregado para una mezcla de hormigón asfáltico en caliente, siendo los más conocidos los siguientes Marshall, Hveem, Hurbbard-Field y Triaxial de Smith.

Para el diseño de las briquetas en la presente investigación se utilizara el método Marshall que es el más aplicado.

➤ Método Marshall (ASTM d-1559).

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

Este método consiste en moldear briquetas con la mezcla de agregados y asfalto en caliente. Estas briquetas dispuestas en serie y cada serie con diferentes porcentajes de

asfalto, se las moldea una vez que los materiales (agregados y asfalto) hayan sido aprobados según sus respectivas especificaciones de calidad, tamaño, etc.

Preparación de probetas

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se prepararán 5 grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de forma que en las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido, cada grupo con diferente contenido de asfalto. Este contenido variara con incrementos de 0.5% de un grupo a otro grupo.

Procedimiento.

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C.

Por un lado se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 175 a 190 °C.

Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 137°C Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

Se pesan luego sobre una bandeja las diversas fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos .Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el asfalto caliente, hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 107°C ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

Figura N°1.20 Preparacion de la muestra



Fuente: Laboratorio de asfaltos empresa ERIKA SRL.

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo especial compuesto de: Un disco circular de 3 7/8" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del matillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18".°

Figura N° 1.21 Fabricando briquetas



Fuente: Laboratorio de asfaltos empresa ERIKA SRL.

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas.

El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta.

Procedimiento de ensayo:

Luego de extraer las briquetas de los moldes se somete cada una a los siguientes ensayos.

- a) Determinación del peso específico “BULK” (densidad aparente).
- b) Ensayo de Estabilidad y flujo.
- c) Determinación de la densidad máxima teórica

Determinación de la densidad aparente

Esta determinación se realiza tan pronto como las briquetas recién compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, la densidad aparente de las briquetas se determina calculando la relación entre su peso en aire y el peso en agua.

La densidad aparente viene dada por la fórmula:

$$D = \frac{Pa}{Pa - Pag}$$

Donde:

Pa = Peso de la probeta en el aire en gramos.

Pag = Peso de la probeta en el agua en gramos.

Ensayo de estabilidad y flujo

Antes del ensayo, se sumerge las briquetas en baño de agua a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ (70 a $100\text{ }^{\circ}\text{F}$). Si es inferior, deberán calentarse en baño de agua hasta alcanzar la temperatura indicada. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero.

Se coloca la biqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de $50.8\text{ mm por minuto}$ ($2'' / \text{minuto}$) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($150\text{ }^{\circ}\text{F}$) se anota como valor de ESTABILIDAD MARSHALL.

Mientras se realiza el ensayo de Estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la biqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Figura N°1.22 Ensayo Marshall de estabilidad y flujo



Fuente: Laboratorio de asfaltos empresa ERIKA SRL.

Determinación del porcentaje óptimo de asfalto

Una vez que se determinó, la densidad aparente, la densidad máxima teórica, la estabilidad y el flujo con cada una de las briquetas correspondientes a los 5 grupos cuyos contenidos de asfalto varían en 0.5 % se procede a tabular los resultados y complementar los datos con otros valores calculados como son:

Peso específico promedio de los agregados:

$$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

G = Gravedad específica promedio.

G₁, G₂, ..., G_n = Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n

P₁, P₂, ..., P_n = Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n.

Volumen de agregado en porcentaje:

$$V_{agr} = \frac{\%agregados * G_b}{G_{agr}}$$

Donde:

V_{agr} = Volumen de agregado en porcentaje.

G_b = Gravedad específica del cemento asfáltico.

G_{agr} = Gravedad específica de los agregados.

Se calcula el porcentaje de vacíos con aire respecto al volumen total de la probeta.

Volumen de vacíos total en porcentaje

$$I_v = \left(1 - \frac{G_{bp}}{G_{mm}}\right) * 100$$

Donde:

V_v = Volumen de vacíos llenos de aire.

G_{bp} = Gravedad específica "bulk" promedio de las briquetas.

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (RICE), no incluye los vacíos de aire.

Se calcula el porcentaje en volumen del cemento asfáltico

Volumen de cemento asfáltico en porcentaje

$$V_{ca} = 100 - V_{agr} - V_v$$

Donde:

V_{ca} : Volumen de cemento asfáltico.

V_{agr} = Volumen de agregado en porcentaje.

V_v = Volumen de vacíos llenos de aire.

Se determina el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM).

Volumen de vacíos en el agregado mineral (VAM)

$$VAM = 100 - V_{agr}$$

Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA).

$$VFA = \frac{VAM - I_v}{VAM} * 100$$

Se determina el contenido de asfalto efectivo, P_{be} , de la mezcla que es el contenido total de asfalto menos la cantidad de asfalto que absorbió el agregado.

Porcentaje de asfalto efectivo en la mezcla

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} * P_s}{100}$$

Donde:

P_{be} = Contenido de asfalto efectivo, porcentaje por peso total de la mezcla.

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla.

P_s = Contenido de agregado, porcentaje por peso total de la mezcla.

P_{ba} = Asfalto absorbido, porcentaje por peso del agregado.

1.2.3 Población

Residuos no reciclables.

1.2.4 Muestra

Porcentajes de residuos no reciclables.

CAPÍTULO II:

CEMENTO ASFÁLTICO Y SU UTILIZACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.-

2.1 GENERALIDADES:

El asfalto es un material bituminoso negro cementante, que varía ampliamente en consistencia, en la naturaleza puede encontrarse puro o mezclado con otros elementos, y en estados sólido, semisólido o líquido. Éste puede obtenerse en yacimientos naturales o a partir de la destilación del petróleo.

Las características de esta sustancia varían según la fuente de donde se extrae, ya que la base bituminosa no es la misma, ni se encuentra en las mismas proporciones en cada pozo. Esta última condición hace necesario clasificar el asfalto según el contenido de betún en asfaltos pesados o asfaltos livianos. El petróleo crudo es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y kerosén de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. El asfalto de petróleo tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños¹.

La mezcla asfáltica la constituye el material pétreo convenientemente recubierto con una película de asfalto y luego sometida a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos y a su vez pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia las capas inferiores.

El objetivo principal del diseño mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.

¹ Características del asfalto: (Notas de clase: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, Bogotá). Ingeniera Ana Sofía Figueroa. Por John Freddy López, Mayo 2008.

- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de colocación.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

El diseño de mezcla adecuado, es generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente.

2.2 OBTENCIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO:

El asfalto se puede encontrar, en estado natural o producto de la destilación del petróleo (actualmente el más utilizado en la industria).

Los asfaltos derivados del petróleo son los más utilizados en el mundo, debido a su pureza y economía en relación con los asfaltos naturales.

El petróleo crudo está compuesto por distintos productos, incluyendo el asfalto. La refinación permite separar estos productos y recuperar el asfalto. Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles), y se separa para su posterior refinamiento en nafta, gasolina, kerosene, y otros productos derivados del petróleo.

La mayoría de los petróleos del mundo tienen algún contenido de asfalto, por lo tanto resulta aplicable su extracción del petróleo, además posee una gran ventaja adicional ya que se refina hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

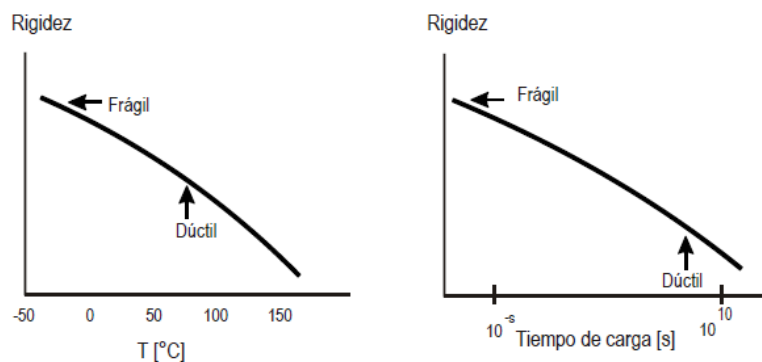
El asfalto es considerado como un material termoplástico, está constituido en su estructura química por complejas cadenas de hidrocarburos, en las cuales se pueden diferenciar dos fracciones: una fracción pesada denominada asfáltenos y una ligera

denominada máltenos. Esta fracción malténica a su vez se puede subdividir en tres fracciones principales: parafinas, resinas y aceites aromáticos.

Los componentes del asfalto interactúan entre sí formando un fluido de comportamiento viscoelástico, este comportamiento depende principalmente de su composición química y está su vez depende de la fuente y el proceso de refinación.

Este material es muy susceptible a los cambios de temperatura, comportándose como un material frágil y quebradizo a bajas temperaturas y como un material fluido viscoso a altas temperaturas.²

Figura N° 2.1: Comportamiento del cemento asfáltico



Fuente: Manual de diseño de pavimentos

Por sus propiedades de adhesividad, consistencia, impermeabilidad y durabilidad es de gran utilidad en la industria de la construcción, como en carpetas asfálticas, riego de liga, riegos de impregnación, adhesivos sellantes, impermeabilizante para cubiertas entre otros.

2.3 TIPOS DE CEMENTOS ASFÁLTICOS:

La mayor parte de los asfaltos producidos son utilizados en trabajos de pavimentación, destinándose una producción menor para aplicaciones industriales, como impermeabilizante, aislantes, etc. De acuerdo a su aplicación, podemos clasificarlos en dos grupos:

² Rodríguez Talavera, Castaño Meneses, Martínez Madrid, & Hernández Padrón, 2001

2.3.1 Asfaltos para pavimento.

a) Cemento Asfáltico:

Los cementos asfálticos son preparados especialmente para el uso en la construcción de pavimentos asfálticos. Es un material para su aplicación en trabajos de pavimentación, pues aparte de sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis.

Figura N° 2.2 Cemento asfaltico



Fuente: <http://civilgeeks.com/2014/07/18/que-es-emulsiones-asfalticas/>

Se dividen bajo tres diferentes sistemas, cada uno abarca diferentes grados con distintos rangos de consistencia.

- **Caracterización por penetración:**

Se aplica la norma ASTM D-946 (Clasificación Estándar por Grado de Penetración para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación). Esta abarca los siguientes grados de penetración:

40 – 50, 60 – 70, 85 – 100, 120 – 150, 200 – 300

Este método se efectúa dejando penetrar una aguja dentro de una muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que penetra la aguja en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200-300 indica

que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro. Esta es una indicación de un asfalto “blando”, un grado 40- 50 es indicación de un asfalto “duro”.

- **Caracterización por viscosidad:**

Se aplica la norma ASTM D-3381 (Clasificación Estándar por Grado de Viscosidad para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación) clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican en:

AC- 5 (500 ± 100): utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para riego de impregnación, riego de liga, en estabilizaciones y en mezclas asfálticas en caliente.

AC- 10 (1000 ± 200): utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para carpetas y morteros de mezcla en frío.

AC- 20 (2000 ± 400): utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezclas en frío.

AC- 30 (3000 ± 600): utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones para carpetas y mezclas en frío.

- **Caracterización por comportamiento:**

Este sistema fue elaborado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos y propuesto en el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), aunque también está incluido en la norma ASTM D-6373 (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento) incluye el conocimiento de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento en función de la temperatura del aire y la latitud geográfica. La ventaja de este sistema es que predice como se va a comportar el asfalto al envejecer. Se puede envejecer el asfalto a corto y largo plazo, posteriormente se mide su viscosidad.

b) Asfaltos cortados:

Los asfaltos cortados, también conocidos como asfaltos diluidos o cut-baks, resultan de la ductilidad del cemento asfáltico con destilados del petróleo. Los diluyentes utilizados funcionan como vehículos, resultando productos menos viscosos que pueden ser aplicados con temperaturas más bajas.

Figura N° 2.3 Asfaltos cortados o diluidos



Fuente: <http://constructionduniya1.blogspot.com/>

De acuerdo con el tiempo de curado determinado por la naturaleza del diluyente utilizado, los asfaltos cortados se clasifican en:

- **Asfalto de curado rápido (RC):**

Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.

- **Asfalto de curado medio (MC):**

Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente como la kerosina de media volatilidad.

- **Asfalto de curado lento (SC):**

Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y aceites pesados de baja volatilidad.

Sigla normalmente seguida de un número que indica su grado de viscosidad por ejemplo:

El MC-30 es un asfalto cortado de curado medio, color negro y estado normal líquido. Consiste en un asfalto diluido en solventes, de uso en frío. La consistencia de este producto permite riegos homogéneos sobre la superficie a aplicar.

c) Emulsiones asfálticas:

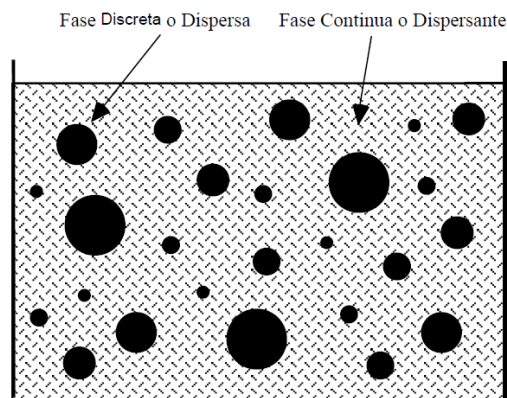
Son dispersiones de cemento asfáltico en fase acuosa, con estabilidad variable. El tiempo de quiebre y de viscosidad de las emulsiones dependen, entre otros factores, de la cantidad y calidad de los agentes emulsificantes.

La cantidad de emulsificantes y aditivos químicos utilizados varía generalmente de 0.2% a 5% y la cantidad de asfalto es del orden del 95%.

Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa).

El color de las emulsiones asfálticas antes del quiebre es marrón y después del quiebre negro, constituyendo esta característica un elemento auxiliar para la inspección visual y constatación rápida de la buena condición del producto. Las partículas de asfalto dispersas en la emulsión son visibles al microscopio variando de su tamaño de 0.1 a 10 micrones.

Figura N° 2.4 Diagrama esquemático de una emulsión



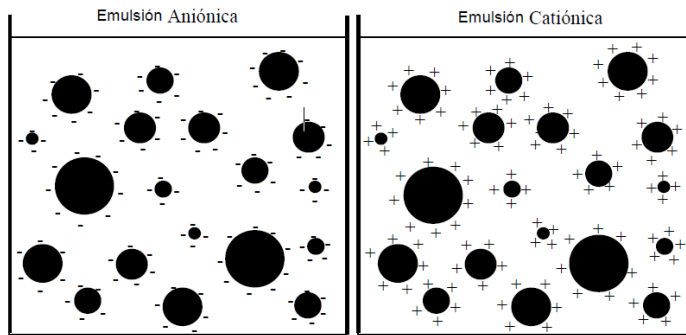
Fuente: Emulsiones asfálticas por: Rogelio Rodriguez Talavera, Mexico, 2004

Las emulsiones asfálticas se clasifican según el tipo de carga de la partícula y tiempo de quiebre.

En cuanto a la carga de partícula, pueden ser:

- **Emulsión aniónica:** los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.
- **Emulsión catiónica:** los glóbulos de asfalto están cargados positivamente.

Figura N° 2.5 Representación esquemática de una emulsión anionica y de una catiónica



Fuente: Emulsiones asfálticas por: Rogelio Rodríguez Talavera, México, 2004

Figura N° 2.6 Tipos de asfalto para pavimentación



Fuente: Emulsiones asfálticas por: Rogelio Rodríguez Talavera, México, 2004

2.4 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Entre muchas otras, dos son las funciones más importantes ejercidas por el asfalto en un pavimento: Aglomerante e Impermeabilizante.

Como aglomerante proporciona una íntima ligazón entre los agregados, capaz de resistir la acción mecánica producidas por las cargas de los vehículos. Como impermeabilizante garantiza al pavimento una acción eficaz contra la penetración del agua proveniente, tanto de las precipitaciones como del subsuelo por acción capilar.

Ningún otro material garantiza mejor que el asfalto una ejecución económica y simultánea de estas funciones; al mismo tiempo proporciona al pavimento características de flexibilidad que permite su acomodo sin fisuramiento, ante una eventual consolidación de las capas subyacentes. Naturalmente, para que el asfalto desempeñe satisfactoriamente estas funciones que le son inherentes, es necesario que sea de buena calidad, y por sobre todo, que en la ejecución del pavimento se respeten todas las especificaciones establecidas en el diseño.

El asfalto tiene lo que es llamado un comportamiento visco-elástico. Presentando a bajas temperaturas características de un material elástico y a altas temperaturas propiedades de un material viscoso.

Una de las características más destacadas de estos ligantes asfálticos es la capacidad de cambio de su consistencia con la temperatura. Este efecto es un factor muy importante durante su procesamiento y uso, por este motivo, se usa una serie de factores para medir empíricamente esta propiedad. El índice de penetración es una, se basa en determinar a una temperatura dada, la penetración que tiene el asfalto. Otro factor determinante en el comportamiento del asfalto es el tiempo, cuando el tiempo y la temperatura varían se puede obtener comportamientos de flujo variables. Un ejemplo muy común es el observar el mismo comportamiento del flujo de un asfalto a 60° C a una hora que a 25°C en 10 horas.

Otra característica importante del asfalto es la capacidad de reacción con el oxígeno, para producir la oxidación de su estructura. Este proceso produce un endurecimiento del asfalto y le da una mayor fragilidad. La oxidación se produce de manera más

acelerada a altas temperaturas, es por este motivo que durante el procesamiento, el material sufre un cambio llamado endurecimiento por oxidación.

2.4.1 Propiedades químicas:

El asfalto tiene propiedades químicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras.

Los ensayos existentes para analizar composiciones químicas requieren de equipos sofisticados y pericia técnica que no está disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfalto.

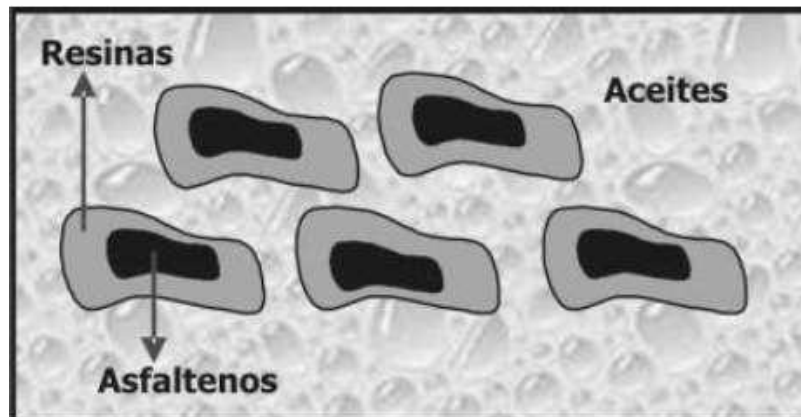
La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento de la estructura del pavimento es todavía incierta.

De todas maneras una breve descripción de la química del asfalto ayudara a que el supervisor entienda la naturaleza del material, Para ayudar a entender la naturaleza del asfalto se hará una breve descripción química del mismo.

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, nitrógeno y otros elementos. El asfalto cuando es disuelto en un solvente como el etano puede separarse en dos partes principales asfáltenos y máltenos.

Podemos decir que los máltenos están ligados con las propiedades elásticas de los asfaltos. Observamos que al pasar de los asfáltenos a los aceites, existe una disminución gradual de componentes aromáticos y un aumento en el carácter parafínico. En forma general, la presencia de parafina influye en las propiedades reológicas del asfalto. La estructura cristalina de la parafina sólida ocasiona un endurecimiento mayor en el asfalto; a temperaturas más elevadas la parafina se licua, lo que ocasiona una variación sensible en las viscosidades del asfalto. La parafina disminuye la adhesividad de los asfaltos en los agregados y una elevada cantidad de ella, puede provocar un envejecimiento prematuro del ligante, influyendo sobre la duración y tiempo de vida útil del pavimento.

Figura N° 2.7 Composición del asfalto



Fuente: Las ventajas y desventajas en el uso de asfaltos modificados con diversos polímeros, por Riaño S., Francisco J, España, 2012

Los asfaltos están compuestos fundamentalmente por asfáltenos que proporcionan las características estructurales y dureza del asfalto, por resinas que asumen las propiedades cementantes o aglutinantes, y por aceites que aportan la consistencia para mejor trabajabilidad.

- **Asfáltenos:**

Los asfáltenos una vez separados de los máltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso del grafito.

Son compuestos de alto peso molecular, principalmente de naturaleza aromática con pocas ramificaciones, se encuentran en sus cadenas de cantidad apreciables elementos como oxígeno, azufre y nitrógeno. Los asfáltenos le dan la característica de dureza al asfalto y se encuentran disueltos en los máltenos.

- **Máltenos:**

Los máltenos son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites

a) Resinas: Son moléculas de menor peso molecular, que tienen un mayor número de ramificaciones en las cadenas. También se observa la presencia de azufre y nitrógeno en sus cadenas, pero en menor frecuencia.

Las resinas son por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color mas claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfáltenos y las resinas

b) Aceites: Moléculas de peso molecular mucho menor, sus cadenas son menos ramificadas y con pocos anillos.

2.4.2 Propiedades Físicas:

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente.

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

Las propiedades físicas del asfalto de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

- **Durabilidad**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Sin embargo existen pruebas rutinarias para evaluar la durabilidad del asfalto estas son las pruebas de película delgada de horno y la pruebas de película delgada de horno rotatorio, ambas incluyen el calentamiento de la película delgada de asfalto.

- **Adhesión y Cohesión**

La adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

La cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión, más bien examina una propiedad del asfalto considerada para algunos como la relación con la cohesión y la adhesión.

- **Susceptibilidad a la temperatura**

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

Debe entenderse que es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

- **Endurecimiento y envejecimiento**

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinado con oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras que está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa del mezclado.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción.

Una vez más, las causas principales de oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, justo con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

2.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS.-

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado³.

Las mezclas asfálticas pueden fabricarse en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras. Se denominan “mezclas en caliente”, pues para lograr que los áridos se mezclen homogéneamente con el asfalto, ambos componentes se llevan a temperaturas altas, sobre los 100°C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla. El proceso de mezclado se realiza en una Planta Asfáltica, y luego se transporta la mezcla al sitio de pavimentación y se coloca por medio de una pavimentadora, asegurándose que la superficie se encuentre preparada correctamente. Una vez extendida, se somete a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades resistentes al desgaste producido por el paso de los vehículos, y a su vez, pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia las capas más profundas, absorbiendo una parte de esta sollicitación.

A través de este proceso, se obtiene una superficie suave y bien consolidada.

2.5.1 Componentes de las mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas están compuestas por agregados, asfalto y vacíos de aire. La calidad de la mezcla asfáltica está directamente ligada con las propiedades y dosificación de los agregados y del cementante, como también a la cantidad de los vacíos de aire.

³ Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22

Las mezclas asfálticas constituyen la parte superior de los pavimentos flexibles y proporcionan un medio de distribución de carga y de impermeabilización que protege la estructura de pavimento de los efectos adversos del agua y de la acción del tránsito. Se emplean para la construcción de pavimentos nuevos, para incrementar la resistencia o mantener una calidad satisfactoria en la superficie de un pavimento existente, o para mejorar la resistencia al deslizamiento.

Se debe de conocer cierta información con respecto a las propiedades del cemento asfáltico y de los agregados, como parte del proceso de diseño para obtener buenos resultados de la mezcla asfáltica.

Es una mezcla, natural o no, de piedra o gravas trituradas, arenas finas, arenas gruesas y llenante mineral. Puede contener todos o algunos de estos materiales. Los agregados deben ser limpios, duros y durables. Los agregados son los responsables de la capacidad de carga o resistencia de la mezcla y constituyen entre el 90% y 95% en peso de la mezcla y entre el 75% y 85% en volumen de la misma.

La idoneidad de los agregados para su empleo en mezclas asfálticas se determina por sus características de: granulometría, resistencia al desgaste, estabilidad, limpieza, fricción, propiedades de la superficie (rugosidad), forma de las partículas (trabajabilidad y compactabilidad), absorción y afinidad con el asfalto.

Agregado grueso

- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D 5821-95).

El propósito de este ensayo es de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado; y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación.

La forma de las partículas de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre por trituración.

Este ensayo describe la determinación del porcentaje, en peso, de una muestra de agregado grueso que presenta una, dos o más caras fracturadas.

- Abrasión de agregado grueso maquina de los ángeles (ASTM-131).

El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de Los Ángeles.

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96 y ASTM C-535, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

Entre menor sea el porcentaje de desgaste obtenido en el ensayo, mayor será la resistencia de los materiales para soportar la abrasión producida por efecto de las cargas del tránsito vehicular.

Agregado fino

- Equivalente de arena (ASTM D-2419).

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm). El término “Equivalente de Arena” transmite el concepto que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezcla de partículas gruesas, arenas y generalmente finos.

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución de cloruro de calcio (CaCl_2) en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena; después de un período de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

- Determinación del peso específico del agregado fino (ASTM D-128).

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

El procedimiento para realizar este ensayo es el descrito en la norma ASTM D-128.

- Análisis granulométrico (ASTM D-422).

El análisis granulométrico tiene como objeto, que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en la mezcla de pavimentación en ciertos porcentajes.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla.

Asfalto

El ligante asfáltico por sí mismo es un material de construcción atractivo y estimulante con el cual trabajar. Su más importante característica, muchas veces una ventaja, a veces una desventaja, es su susceptibilidad térmica. Esto es, sus propiedades mensurables dependen de la temperatura. Por esta razón casi todos los ensayos de caracterización de cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura. Sin una temperatura de ensayo especificada, el resultado de ensayo no puede ser efectivamente interpretado.

El comportamiento del cemento asfáltico depende también del tipo de aplicación de carga. Para la misma carga, diferentes tiempos de aplicación de la carga implican propiedades diferentes. Como el comportamiento del cemento asfáltico es dependiente de la temperatura y de la duración del tiempo de aplicación de carga, estos dos factores pueden intercambiarse. Es decir una baja velocidad de carga puede simularse con temperaturas elevadas y una alta velocidad de carga puede simularse con bajas temperaturas.

El cemento asfáltico es llamado material visco-elástico porque exhibe simultáneamente características viscosas y elásticas, a altas temperaturas, actúa casi como un fluido viscoso. En otras palabras, calentando a temperaturas elevadas (100°C), muestra la consistencia de un lubricante utilizado como aceite para motores. A una baja temperatura, (0°C), el cemento asfáltico se comporta casi como un sólido elástico, es decir, actúa como un trozo de goma. Cuando es cargado se estira o se comprime adoptando diferentes formas. Cuando es descargado, retorna fácilmente a su forma original. A una temperatura intermedia, que es una condición prevista en el pavimento, el cemento asfáltico tiene características de ambos estados, un flujo viscoso un sólido elástico.

Al estar compuesto de moléculas orgánicas, reacciona con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se denomina “oxidación” y cambia la estructura y composición de las moléculas de asfalto. Al reaccionar con el oxígeno, la estructura del asfalto se hace más dura y frágil y da origen al término “endurecimiento por oxidación” o “endurecimiento por envejecimiento”.

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para permitir el mezclado y compactación.

Este también es el motivo por el que la oxidación es más crítica en cementos asfálticos utilizados en pavimentos en climas cálidos y desérticos.

Los ligantes asfálticos modificados son productos concebidos para superar las propiedades del asfalto original, mejorando así el desempeño del pavimento a largo

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

2.6 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS:

2.6.1 Características de las mezclas asfálticas

Una briqueta preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla:

- **Densidad**

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

La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

- **Vacíos de aire**

“Son espacios pequeños de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios en donde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos de aire (en muestras de

laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico⁴”. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona espacios, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa.

- **Vacíos en el agregado mineral**

“Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto⁵.”

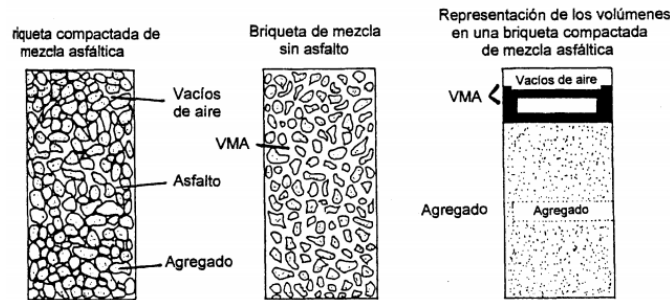
El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que es absorbida por el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para el asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanta más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

Figura N° 2.8 Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada.

⁴ Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador MTOP, 2013

⁵ Asphalt Institute MS-22, 2009



Fuente: <http://pirhua.udep.edu.pe/>

Figura N° 2.9 Requisitos de VMA, NEVI-12

TNM, mm	VMA mínimo, %		
	Vacios de Aire de Diseño, %		
	3.0	4.0	5.0
4.75	16	17	18
9.5	14	15	16
12.5	13	14	15
19.0	12	13	14

Fuente: Norma NEVI-12 Volumen 3

2.6.2 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades requeridas por la norma ASTM D6927-06 para el diseño Marshall.

El objetivo primordial del procedimiento de diseño es el de garantizar que la mezcla posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

- **Estabilidad**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener

su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

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

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) esta relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. la cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en los pavimentos.

Cuadro N°2.1 Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y floramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

Fuente: Serie de manuales N°22 del instituto de asfalto (MS-22)

- **Durabilidad**

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtenerla máxima impermeabilidad.

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

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

Cuadro N°2.2 Causas y efectos de una poca durabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
---------------	-----------------

Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y Desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Fuente: Serie de manuales N°22 del instituto de asfalto (MS-22)

- **Impermeabilidad**

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica esta relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

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

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

Cuadro N°2.3 Causas y efectos de la permeabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

Fuente: Serie de manuales N°22 del instituto de asfalto (MS-22)

- **Trabajabilidad**

La trabajabilidad esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla mas trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano., partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se

vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

Cuadro N°2.4 Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula: Grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.

Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, Poco durable.

Fuente: Serie de manuales N°22 del instituto de asfalto (MS-22)

- **Flexibilidad**

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

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

- **Resistencia a la fatiga**

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la

resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio esadecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

Cuadro N°2.5 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.

Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.
---------------------------------	---

Fuente: Serie de manuales N°22 del instituto de asfalto (MS-22)

- **Resistencia al deslizamiento**

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie este mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (38 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a 70 deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

Cuadro N°2.6 Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

CAUSAS	EFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de Hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: Serie de manuales N°22 del instituto de asfalto (MS-22)

2.7 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

- **Método de diseño**

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en seleccionar una granulometría y un porcentaje de asfalto de modo que, una vez fabricada y puesta en terreno, cumpla las propiedades para la cual fue diseñada. Los métodos de dosificación tienen como fin determinar el porcentaje de asfalto óptimo para una combinación determinada de agregados de acuerdo a las propiedades seleccionadas.

Previo al diseño de la mezcla, es necesario que todos los materiales constituyentes, agregados y asfaltos, sean analizados para decidir si son aptos o no para formar parte del pavimento a construir.

El método de diseño más utilizado en Bolivia para las mezclas en caliente, es el *Método Marshall*, el cual está basado en el empleo de ensayos mecánicos.

El Método Marshall es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos y que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm. Este procedimiento puede usarse tanto para el diseño en laboratorio como para el control de terreno.

El desarrollo del método implica la confección de una serie de probetas normalizadas de 2½” de altura y 4” de diámetro, las cuales difieren en el porcentaje de ligante. Suelen utilizarse al menos cinco contenidos de cemento asfáltico, variando entre uno y otro en 0.5%, tratando de estar por encima y por debajo del óptimo esperado. Para cada contenido de ligante, se fabrican al menos tres probetas.

Las probetas se preparan de acuerdo a un procedimiento específico de calentamiento, mezclado y compactación. Las temperaturas de mezclado y de compactación dependen del cemento asfáltico que se utilice para fabricar las probetas.

La compactación del material dentro de los moldes se realiza a través del martillo Marshall, que es un dispositivo de acero, formado por una base plana y circular de 7” de diámetro, equipado con un peso de 10 [lb] (4.54 [kg]) y construido de modo de obtener una altura de caída de 18”. Las probetas se compactan con 75 golpes por cara, o como se especifique según el tránsito de diseño.

Figura N° 2.10 Martillo Marshall



Fuente: Laboratorio de asfaltos de la empresa ERIKA S.R.L

Las dos características principales de este método de diseño son el análisis Densidad-Huecos y el ensayo de Fluidez y Estabilidad de las probetas.

La estabilidad de la probeta es el valor de la carga máxima en Newton que alcanzará al ensayarla a compresión lateral en la máquina de ensayo Marshall, la cual está diseñada para aplicar carga a las probetas a través de unas mordazas semicirculares a una velocidad de deformación de 51 mm por minuto. La fluidez es la deformación, en cuartos de milímetros, que ocurre desde el instante en que se aplica la carga hasta lograr la carga máxima.

Figura N° 2.11 Equipo Marshall



Fuente: Laboratorio de asfaltos de la empresa ERIKA S.R.L

Con los valores obtenidos, y en base a los criterios definidos en el Manual de Carreteras en función del tipo de tránsito y el empleo de la mezcla, ya sea como

carpeta de rodado, carpeta intermedia o capa base, se obtiene el porcentaje óptimo de asfalto y la mezcla de agregados pétreos que garantizan una buena estructura.

2.8 CONTROL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

La mezcla asfáltica se crea en la planta de producción, por esta razón este es el primer lugar donde se debe realizar un control estricto de los insumos y de la ejecución de todos los procesos para obtener un producto final de buena calidad, que se ajuste a las especificaciones y cumpla con todas las expectativas para la cual fue diseñada. En ese orden de ideas debemos conocer los componentes de la planta, como funcionan, como se pueden mejorar y como se pueden controlar.

Una planta de asfalto es un ensamble de equipos mecánicos y eléctricos donde los agregados son secados, calentados y mezclados con asfalto para producir Mezcla asfáltica Caliente de acuerdo con las especificaciones requeridas⁶. Las plantas de asfalto varían en su capacidad de mezclado y pueden ser estacionarias (localizadas en un sitio permanente) o portátiles (trasladadas de obra en obra).

En general, cualquier planta puede ser clasificada como una planta de bachada o como una planta de tambor de mezclado.

Independientemente del tipo de planta de mezclado en caliente, el propósito básico es el mismo: producir Mezcla asfáltica Caliente con las proporciones especificadas de agregados y asfalto, ambos tipos de plantas están diseñados para tal propósito.

Las operaciones básicas en la producción de Mezcla asfáltica Caliente son las mismas, independientemente del tipo de planta. Estas operaciones incluyen:

1. Adecuada manipulación y almacenamiento de todos los componentes en la planta de mezclado.
2. Exacta dosificación y alimentación del agregado frío que se transporta hacia el secador.
3. Calentamiento y secado efectivos del agregado a la temperatura apropiada.

⁶ ASPHALT INSTITUTE, edition “CONSTRUCTION OF HOT MIX ASPHALT PAVEMENTS”

4. Eficaz control y recolección de polvo desde el secador.
5. Apropiada dosificación, alimentación y mezclado del asfalto con los agregados calientes.

Figura N° 2.12 Planta de Asfaltos



Fuente: Laboratorio de asfaltos de la empresa ERIKA S.R.L

Almacenamiento y Manipulación de los Agregados

Los agregados deben ser manejados y almacenados de manera que se evite su contaminación y se minimice su degradación y segregación. El área donde se vayan a ubicar las pilas de almacenamiento debe estar limpia y debe estar estabilizada para prevenir la contaminación de los agregados.

Los materiales deben estar apilados en un terreno con pendiente, que permita el drenaje y prevenga la acumulación de lodo. El almacenamiento de los agregados bajo techo es una práctica muy usada como una opción para mantener a los agregados alejados de la lluvia.⁷

Deben tomarse las medidas pertinentes para prevenir el entremezclado de las pilas que posean diferentes tamaños de agregados. Las áreas de almacenamiento deben tener un espacio suficiente para permitir una separación apropiada de los agregados.

El problema principal de la manipulación y almacenamiento de los agregados es la segregación, los métodos usados para controlarla dependen de la naturaleza del material.

Los agregados gruesos compuestos de muchos tamaños de partículas requieren una manipulación más cuidadosa que los agregados finos (como las arenas y los limos) y los agregados de un solo tamaño. Las arenas, los agregados finos triturados y los agregados de un solo tamaño (especialmente los tamaños más pequeños) pueden ser manipulados y almacenados en pilas de cualquier manera, con presencia de una pequeña segregación (si hay alguna).

Figura N° 2.13 Producción y almacenamiento de agregados



Fuente: Laboratorio de asfaltos de la empresa ERIKA S.R.L

Muestreo de los Agregados

⁷ The Asphalt Handbook

El muestreo de agregados puede realizarse de la banda transportadora. Estas muestras si se toman apropiadamente, por lo general, son más representativas que las muestras de las pilas. La banda transportadora debe pararse y la muestra debe incluir el material que cubre el ancho total de la banda, para obtener una muestra representativa. El flujo total del agregado de la banda debe introducirse en una bolsa de muestreo, con destino al laboratorio.

Almacenamiento y Manipulación del Asfalto

Debe almacenarse suficiente asfalto en la planta para mantener una operación continua y uniforme de la planta, especialmente cuando existen demoras en los despachos y se toma mucho tiempo en cuantificarlos⁸. La mayoría de las plantas tienen al menos dos tanques de asfalto para un mejor manejo de diferentes tipos de asfalto. Algunas plantas usan tanques verticales, un tanque de trabajo y uno o más de almacenamiento. Cuando se necesita más de un grado de asfalto para producción, se requerirá al menos un tanque por cada grado.

Muestreo del Asfalto

Normalmente, las muestras de asfalto se toman de la válvula de muestreo en la línea de entrega hacia la cámara de mezclado. Ocasionalmente, las muestras se toman del dispositivo de muestreo del carro tanque o del tanque de almacenamiento, se deben tener en cuenta las siguientes reglas para muestrear asfalto:

- Deben seguirse todas las precauciones de seguridad en el almacenamiento del asfalto caliente.
- El ligante asfáltico estará muy caliente cuando se haga el muestreo, por esta razón se deben usar elementos de protección como: guantes, protector para la cara y camisas de manga larga, para protegerse de las quemaduras.
- Para asegurarse que las muestras sean representativas, deben ser tomadas de las válvulas de muestreo construidas para tal propósito.
- Solamente se deben usar recipientes nuevos, limpios y secos.

⁸ “Safe storage and handling of hot mix asphalt”

- Por lo menos un cuarto de galón debe dejarse drenar por la válvula de muestreo, antes de tomar muestras. Esto permite limpiar la válvula y la línea, y ayuda a obtener una muestra representativa.
- Los recipientes una vez llenos deben sellarse con una tapa hermética y precisa.
- Cualquier material derramado debe ser secado inmediatamente con un paño limpio y seco pero NUNCA con el paño empapado o remojado en disolvente.
- Todos los recipientes de muestreo deben ser marcados claramente. La tapa del recipiente también debe ser marcada para asegurarse de colocarle la misma.
- Los recipientes deben ser rotulados con un marcador de tinta indeleble.

Registro de los Materiales

Agregados: Cierta información debe ser registrada a medida que los agregados van ingresando a la planta. Esta incluye una descripción del material, la fecha y la cantidad recibida y sí el material ha sido ensayado y aprobado antes de ser enviado. Si ha sido aprobado, debe registrarse el número de identificación y si es necesario deben tomarse muestras para verificar los resultados de los ensayos. El tamaño y la frecuencia de las muestras de chequeo variará de acuerdo a las políticas de la empresa.

Si el material no ha sido ensayado antes del envío, se deben tomar muestras al azar y ensayarlas para asegurar que cumplen con todas las especificaciones. Como mínimo, se deben realizar ensayos para verificar la gradación (ensayo de granulometría), y limpieza (análisis con tamices lavados), para agregados gruesos y equivalente de arena para agregados finos. Las muestras también se toman para ensayos de absorción, gravedad específica, abrasión y tendencia al strip (afinidad por el asfalto).

El muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, se realiza directamente en los bancos de explotación, en almacenes de materiales o durante las maniobras de carga y descarga. El muestreo incluye además las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

Los registros para materiales no ensayados deben incluir:

- Nombre del productor del material
- Localización de la planta
- Cantidad recibida
- Cantidad representada por cada muestra

Figura N° 2.14 Selección de material para usar en el laboratorio



Fuente: Laboratorio de asfaltos de la empresa ERIKA S.R.L

Control de Temperatura

El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad disminuye al crecer su temperatura. La relación entre la temperatura y la viscosidad puede no ser la misma para diferentes orígenes o tipos y grados de material asfáltico.

Normalmente se especifican las temperaturas de aplicación para diversos empleos de los materiales asfálticos, pero como consecuencia de las variaciones de viscosidad, el especificar solamente la temperatura no es suficiente para hacer uso adecuado de los materiales. Por ello, se recomienda que se tenga en cuenta la relación viscosidad-

temperatura de cada material asfáltico antes de fijar la temperatura adecuada para el tipo de procedimiento constructivo empleado⁹.

La temperatura más adecuada para mezclado en instalación mezcladora es aquella a que la viscosidad del asfalto está comprendida entre 75 y 150 segundos Saybolt-Furol. Las temperaturas más elevadas de este campo de variación son normalmente más adecuadas para mezclas con áridos finos. No hay que olvidar que la temperatura de los áridos regula en medida importante la temperatura de la mezcla.

La temperatura más adecuada para el riego está comprendida normalmente entre 25 y 100 SSF. Se emplean las viscosidades más elevadas de este margen para sellado y penetración de superficies abiertas, y las más bajas para sellado y penetración de superficies cerradas.

Obtener una temperatura apropiada de los agregados es esencial para controlar la temperatura de la mezcla. El asfalto adicionado al agregado durante la mezcla asimila la temperatura de la mezcla inmediatamente.

El excesivo calentamiento de los agregados durante el mezclado puede provocar un endurecimiento acelerado del asfalto. El agregado calentado a una temperatura inferior a la especificada, difícilmente se adherirá al asfalto, produciendo además, una mezcla de difícil manipulación que no se deja extender.

2.9 ESPECIFICACIONES EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

La mezcla asfáltica está compuesta por agregados y asfalto, y deberán evaluarse primeramente cada uno de sus componentes por separado y posteriormente la mezcla como un todo, acorde con su diseño y al desempeño esperado.

2.9.1 Especificaciones técnicas

Son aquellas que se utilizan para establecer los requisitos de calidad de los materiales pétreos que son utilizados para la elaboración del esqueleto de una carpeta asfáltica, ya que es el agregado que proporcionará la mayor resistencia a las cargas que ejercerá

⁹ The Asphalt Handbook

el tráfico he aquí la importancia de presentar las mejores propiedades establecidas en normas.

Proveen de un lenguaje común, preciso, y libre de ambigüedades que regula y facilita las interrelaciones que se darán entre las personas involucradas en el proyecto. Las especificaciones técnicas a su vez recurren a normas ya desarrolladas internacionalmente (Ej. ASTM, AASHTO, etc.), que conforman un estándar de terminologías, ensayos, patrones, etc. que facilitan y hacen útil la experiencia ingenieril en el intercambio de conocimientos tecnológicos a nivel internacional.

Las especificaciones técnicas están incluidas y juegan un papel importante en los documentos de licitación y contratación del contratante (propietario).

Agregados Minerales Gruesos

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa de material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito, en caso de que esta circunstancia se produzca, será necesario añadir algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena adhesividad.

La proporción de los agregados, retenida en la Malla N° 4, se designará agregado grueso y se compondrá de piedra triturada y/o grava triturada.

Así mismo, y de ser necesario se realizará el venteo mecanizado y lavado a la trituración del agregado grueso, para minimizar la presencia de partículas finas.

El agregado triturado, en no menos de un 40% en peso, de las partículas del mismo, deberá tener dos caras fracturadas o forma cúbica angulosa, y no menos del 65% tendrá una cara fracturada. De ser necesario para cumplir con este requisito, la grava deberá ser tamizada antes de ser triturada.

Dichos materiales serán limpios, compactos y durables, no estarán recubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales; no contendrán arcilla en terrones. Los acopios destinados a capas de superficie deberán estar cubiertos para prevenir una posible contaminación.

No se utilizarán agregados con tendencia a pulimentarse por acción del tráfico, especialmente en capas de superficie.

Cuando la granulometría de los agregados tiende a la segregación durante el acopio o manipulación, deberá suministrarse el material en dos o más tamaños separados.

De ser necesaria la mezcla de dos o más agregados gruesos, el mezclado deberá efectuarse en tolvas separadas y en los alimentadores en frío y no en el acopio.

Agregados Minerales Finos

La proporción de los agregados que pasan la Malla N° 4, se designará agregado fino y se compondrá de arena natural y/o material obtenido de la trituración de piedra, grava o escoria o de una combinación de ambos.

Dichos materiales se compondrán de partículas limpias, compactas, de superficies rugosas moderadamente angulares, carentes de grumos de arcilla u otros aglomerados de material fino.

No se utilizarán en capas de superficie agregados con tendencia a pulimentarse por el tráfico.

Cuando sea necesario mezclar dos o más agregados finos, deberá hacerse a través de tolvas separadas y en los alimentadores en frío y no en el acopio.

Los Agregados finos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

Cemento Asfáltico

La selección del cemento asfáltico será del grado de penetración que corresponda, de acuerdo a lo que se indica en el siguiente cuadro que se utiliza como referencia.

El cemento asfáltico será homogéneo, carecerá de agua y no formará espuma cuando sea calentado a 175 °C. Se deberá tener en cuenta las temperaturas máximas de calentamiento recomendadas por el proveedor.

CAPITULO III

POLÍMEROS Y SU UTILIZACIÓN

3.1 ANTECEDENTES

Antes de empezar a trabajar con los polímeros es conveniente explicar que se entiende por polímero y el origen de ellos. Cuando hablamos de polímeros nos referimos a un compuesto sintético o natural formado a partir de la repetición de una unidad estructural llamado monómero.

Los polímeros han estado presentes en la vida y la naturaleza desde sus comienzos, como pueden ser las proteínas, pero los primeros polímeros artificiales surgieron a mediados del siglo diecinueve desarrollándose hasta nuestros días. Los primeros polímeros artificiales se obtuvieron a base de la transformación de polímeros naturales (caucho, seda, algodón, etc...).

El primer polímero conocido por el hombre, al cual se le dio un uso fue el látex natural, conocido como hule. Posteriormente de iniciado el interés en el novedoso material, se dio un auge a la investigación de este, pues aunque tenía propiedades singulares presentaba un rápido deterioro por el incremento de la temperatura. Después del descubrimiento del proceso de vulcanización, con lo que se logra la obtención del primer polímero termo fijo, se presenta una carrera científica de interés militar para crear polímeros sintéticos, lo que a la fecha ha traído un gran número de tipos de estos materiales, pudiendo enlistar una muy amplia lista de estos. En nuestro caso, obviamente, solo hablaremos de aquellos que tienen utilidad en la modificación de asfaltos.

En conclusión podemos decir que el desarrollo de los polímeros ha sido uno de los mayores avances tecnológicos llevados a cabo por el hombre puesto que se han convertido en el material base sin el cual no seríamos capaces de fabricar un gran numero de objetos: los plásticos¹.

¹ Maier, M. (2001).Polímeros. (en línea)
[Http://www.detextiles.com/files/ESTRUCTURA%20DE%20LOS%20POLIMEROS.pdf](http://www.detextiles.com/files/ESTRUCTURA%20DE%20LOS%20POLIMEROS.pdf)

3.2 TIPOS DE POLÍMEROS

3.2.1 Polímeros naturales

Provenientes directamente del reino vegetal o animal. Por ejemplo: celulosa, almidón, proteínas, caucho natural, ácidos nucleicos, entre otros².

3.2.2 Polímeros artificiales

Los polímeros más comunes y los usados a diario son aquellos que provienen de un proceso de polimerización (sintéticos).

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular, formados por pequeñas moléculas denominadas monómeros, estos tienen diferentes formas de unirse como: cadenas unidas o termo fijas, cadenas largas y sueltas, cadenas en forma de escalera entre otras.

Estas diferentes formas de unión entre los monómeros le dan ciertas propiedades al polímero, es decir una cadena termo fija o unida, al estar en presencia de calor no se ablanda³.

Son el resultado de modificaciones mediante procesos químicos, de ciertos polímeros naturales. Ejemplo: nitrocelulosa, etonita, etc.

3.3 POLÍMEROS USADOS EN LA MODIFICACIÓN DE ASFALTOS

De acuerdo con su comportamiento con la temperatura, los polímeros se dividen en dos grandes grupos: polímeros termoplásticos y polímeros termoestables, siendo los primeros reciclables, debido a que poseen la capacidad de ser reprocesados con temperatura, y los segundos no reciclables, debido a que ningún proceso ni térmico ni físico permite la reutilización de este material⁴. En las últimas décadas, la cadena de suministro va cambiando diariamente y, por tal motivo, se ha incrementado lo que se denomina hoy la basura electrónica “residuos viejos de aparatos electrónicos”⁵. Compuestos por un 23% plástico y el 77% restante por materiales diversos, tales

² Educar-Chile, 2007

³ Textos científicos 2005

⁴ Pickering, 2006; Vasudevan et al., 2007 Rondón et al., 2007

⁵ Ravi, 2011

como fibras de vidrio o de carbono y vidrio, entre otros⁶. Estos materiales se consideran no reciclables y por lo tanto están siendo desechados mediante incineración o en vertederos; ambos métodos de desecho son contaminantes debido a la generación de gases invernaderos y/o gases tóxicos, y en el caso de los vertederos a la generación de lixiviados que contaminan las corrientes de agua.

El asfalto modificado con polímeros reciclables ha sido una material objeto de múltiples investigaciones⁷. Sin embargo, actualmente se conocen pocas investigaciones dedicadas a estudiar el efecto de la adición de polímeros no reciclables sobre las propiedades del asfalto.

A pesar de que los polímeros pueden formularse de tal manera que resulten con cualquier propiedad física, aquellos que se utilizan en la modificación de asfaltos se pueden agrupar en dos categorías principales: plastómeros o termoestables y elastómeros.

3.3.1 Asfaltos modificados con polímeros tipo Plastomeros o termoestables:

Los plastómeros forman una red rígida tridimensional, estos polímeros dan mucha fuerza a temprana edad para resistir cargas pesadas, pero pueden fracturarse cuando son deformados, ya que son muy rígidos, provocando la fatiga acelerada del pavimento, si no se cuenta con una estructura adecuada, el ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación.

Debido a la forma en que estos polímeros se incorporan al asfalto aumentan de forma considerable su viscosidad, incluso en bajas dosificaciones.

Si se aumenta la concentración del polímero, se llega a un punto en el cual la mayoría de los aceites están asociados con el polímero y se produce un cambio drástico en las propiedades físicas del asfalto. Estas se acercan más a las propiedades del polímero que a las del asfalto.

⁶ Hai-Yong & Julie, 2005

⁷ Vasudevan et.al., 2007; Lozano, 2005; Vasudevan et al., 2011; Rondón et al., 2007

Esto sucede cuando el contenido del polímero va de 8 – 10%, en este punto, el asfalto aumenta el intervalo de plasticidad, aumenta la resistencia a la ruptura, disminuye su sensibilidad térmica sobre todo en el intervalo de temperaturas de aplicación.

Como ejemplo tenemos:

- **Polímeros no reutilizables producto de residuos electrónicos**

En las últimas décadas, la cadena de suministro va cambiando diariamente y, por tal motivo, se ha incrementado lo que se denomina hoy la basura electrónica “residuos viejos de aparatos electrónicos⁸”. Compuestos por un 23% plástico y el 77% restante por materiales diversos, tales como fibras de vidrio o de carbono y vidrio, entre otros⁹. Estos materiales se consideran no reciclables y por lo tanto están siendo desechados mediante incineración o en vertederos; ambos métodos de desecho son contaminantes debido a la generación de gases invernaderos y/o gases tóxicos, y en el caso de los vertederos a la generación de lixiviados que contaminan las corrientes de agua.

Actualmente se conocen pocas investigaciones dedicadas a estudiar el efecto de la adición de polímeros no reciclables sobre las propiedades del asfalto¹⁰.

Residuo electrónico: Se utilizaron residuos de componentes electrónicos constituidos en su totalidad por polímeros termoestables. Estos residuos electrónicos fueron proporcionados por la empresa de reciclaje de residuos electrónicos RAEE Recicla, provenientes del desecho de carcasas de celulares, computadores, televisores, equipos de sonidos, entre otros.

Inicialmente, el material se tamizó. Posteriormente, se trituro el material en un molino de cuchillas proporcionado por la empresa RAEE Recicla. Para la elaboración del asfalto modificado con polímero termoestable se utilizó únicamente pasantes malla 100.

⁸ Ravi, 2011

⁹ Hai-Yong & Julie, 2005

¹⁰ Guo (2003)

Figura N° 3.1 Residuos electrónicos pasantes del tamiz 10 y 100



Fuente: Propia

Polietileno:

Este polímero no tiene una alta compatibilidad con el asfalto ni le confiere propiedades espectaculares, pero se usa ya que es un componente de bajo costo y soluciona un problema ecológico, al poder disponer de los desechos de este material en las carreteras.

Los asfaltos modificados con este tipo de polímero termoplástico cuando son añadidos en bajas proporciones, poseen las siguientes propiedades:

- Buena resistencia al calor.
- Buena resistencia al envejecimiento.
- Baja viscosidad.

En el plano mecánico:

- La resistencia Marshall aumenta de 2 a 2.5 veces a 25°C mientras que a 0°C y -2.5°C es prácticamente igual a la de un asfalto convencional.
- Buena flexibilidad a baja temperatura.
- Cuando es utilizado en concentraciones de 7% aumenta la rigidez del asfalto a temperaturas elevadas.
- Buena resistencia a deformaciones permanentes.

Figura N° 3.2 Polietileno



Fuente: <http://constructionduniya1.blogspot.com/>

- **EVA:**

Los polímeros o resinas Etilo-Vinil - Acetato son relativamente nuevos en la modificación de asfaltos, son muy compatibles con estos.

La relación acetato de vinilo/ etileno es muy importante, pudiéndose variar el contenido de acetato de vinilo de algún % hasta 50% o incluso mas. Cuando los contenidos de acetato de vinilo son bajos las propiedades se asemejan a las de los asfaltos mencionados anteriormente. Un polímero EVA con un contenido del 18% de acetato de vinilo es el más adecuado para ser usado en la construcción de carreteras. Cuando se aumenta la concentración de acetato de vinilo en el polímero (15 a 30%), adquiere un excelente poder adherente.

Los asfaltos modificados con EVA poseen las siguientes características:

- Buena estabilidad térmica a un costo razonable.
- Las dosificaciones de polímero oscilan entre el 2 hasta un 10% dependiendo de las propiedades que se pretende obtener.
- La temperatura de ablandamiento aumenta entre 6 y 12°C.
- Excelente resistencia al resquebrajamiento en flexión es decir a las fatigas provocadas por las flexiones o vibraciones repetidas.

- Aumentan la cohesión de las mezclas a medida que se aumenta el contenido del polímero.

Figura N° 3.3: Polímero Etileno Vinil Acetato (EVA)



Fuente: <http://constructionduniya1.blogspot.com/>

3.3.2 Asfaltos modificados con polímeros tipo elastómeros

Se requiere mezclar tres componentes: asfalto, resina base y un endurecedor, lo que complica la modificación ya que debe existir compatibilidad entre estos.

Los asfaltos modificados tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión a los agregados. Si el trabajo con este tipo de asfalto es realizado dentro de los parámetros correctos, su tiempo de vida está condicionado por la vida del agregado, no por el asfalto; en otras palabras el pavimento se deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto). Su resistencia al envejecimiento es excelente.

Son empleados para casos específicos como:

- Zonas de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrapaje.
- Zonas donde se requiere resistir a las maniobras o a los agentes químicos.
- Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad durante largos periodos de tiempo¹¹.

¹¹ Asociación Mexicana del asfalto (2008). Emulsiones Asfálticas, México

- **Latex, hule natural, SBS, SBR:**

Este tipo de polímero es el más utilizado en la modificación del asfalto, el efecto de la adición de estos al asfalto es aumentar su intervalo de plasticidad y disminuir la susceptibilidad térmica. El punto de ablandamiento puede aumentar hasta 20°C, a temperaturas inferiores a 70°C los asfaltos tienen menor penetración, esto es interesante ya que a estas temperaturas se dan deformaciones en las superficies de rodamiento.

Los asfaltos son más duros pero siguen siendo elásticos lo que evita la formación de roderas y el agrietamiento de las mismas. La rigidez de estos asfaltos ayuda a soportar los largos tiempos de carga sin deformaciones.

Entre -10°C y + 10°C el elastómero proporciona al asfalto mayor elasticidad sin aumentar la rigidez.

Figura N° 3.4: Latex, hule natural, SBS, SBR



Fuente: <http://constructionduniya1.blogspot.com/>

- **Hule de llanta:**

Las propiedades que adquiere el asfalto al añadirle este tipo de hule son similares a las que se obtienen con el polímero SBR o SBS aunque, se deben utilizar dosificaciones más elevadas. Las llantas para ser utilizadas como agentes

modificadores de asfalto requieren de un proceso físico para reducir sus dimensiones, el cual suele ser complejo.

Estos asfaltos modificados presentan altas viscosidades por lo que se requiere el empleo de algún fluidificante, alrededor del 6% de queroseno. Son usados principalmente en riegos de sello destinados a absorber las grietas debidas a contracciones y dilataciones, estos riegos son llamados SAM (membranas de absorción de tensiones).

Figura N° 3.5: Hule de llanta molida



Fuente: <http://constructionduniya1.blogspot.com/>

3.4 PROPIEDADES DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, mejoran el comportamiento reológico de los mismos. Se puede decir que un asfalto modificado es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de los polímeros con un ligante asfáltico.

Un asfalto puede modificarse con rellenos minerales, cauchos, plásticos o hidrocarburos. Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según la temperatura a la que se encuentren; es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se denomina susceptibilidad térmica, la cual debería ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de cargas, sean lo suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas, sean resistentes a las deformaciones.

La situación ideal es aquella de aquel asfalto que mantiene su consistencia en un amplio intervalo de temperatura.

Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse dentro del asfalto. Así por ejemplo tenemos los cauchos, de comportamiento elastomérico. Algunos polímeros generan cadenas lineales, otros en bloque pero en general la macrodispersión lograda consta de un sistema de dos fases en donde

- El polímero se dispersa sin ejercer efecto alguno.
- Absorben los aceites maltenos y se hinchan.
- Se dispersan en forma molecular. El grado de dispersión depende de la temperatura de trabajo, del esfuerzo de corte ejercido, de la aromaticidad de los maltenos del asfalto base y de la cantidad de asfaltenos presentes.

En general un agente modificador logra:

- Disminuye la susceptibilidad térmica
 - Se obtienen mezclas mas rígidas a altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento
 - Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento
- Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- Mayor elasticidad: debido a los polímeros de cadenas largas
- Mayor adherencia: debido a los polímeros de cadenas cortas
- Mayor cohesión: el polímero refuerza la cohesión de la mezcla
- Mejora la trabajabilidad y la compactación: por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado

- Mejor impermeabilización: en los sellados bituminosos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
- Mayor resistencia al envejecimiento: mantiene las propiedades del ligante, pues los sitios más activos del asfalto son ocupados por polímero.
- Mayor durabilidad: los ensayos de envejecimiento acelerado en laboratorio, demuestran su excelente resistencia al cambio de sus propiedades características.
- Mejora la vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación
- Fácilmente disponible en el mercado
- Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado
- Disminuye el nivel de ruido: sobre todo en mezclas abiertas
- Permite la reducción de hasta un 20% de espesores
- Mayor resistencia a la flexión en la cara inferior de las capas de mezclas asfálticas
- Permite un mejor sellado de fisuras
- Buenas condiciones de almacenamiento a temperaturas moderadas

Los asfaltos modificados quedan así constituidos por dos fases diferenciadas:

1) Polímero

2) Ligante Asfáltico.

Cuando hay bajas concentraciones de polímeros existe una matriz continua de ligante asfáltico en la que se encuentra disperso el polímero, a altas concentraciones de ligante asfáltico se invierten las fases. Esta estructura da origen al cambio de comportamiento de los asfaltos modificados.

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ASFALTO MODIFICADO.

4.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN:

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo, ya que se realizó una recolección y análisis de datos que se aplican a ensayos de laboratorio para determinar la calidad de los agregados, del cemento asfáltico así como su comportamiento al agregar diferentes porcentajes de polímero.

Asimismo se analizaron los datos de manera numérica para comparar el asfalto convencional y el modificado.

Para la realización de la investigación se establecen criterios básicos que conllevan a la obtención del objetivo del trabajo como ser:

- Se elige el cemento asfáltico 85/100 porque es el más utilizado en proyectos viales, por lo que los resultados que se obtengan pueden ser los más utilizados.
- Se elige como producto modificador los residuos electrónicos porque en la actualidad existe una gran cantidad de productos electrónicos que después de cumplir su vida útil quedan en desuso, provocando un gran problema de contaminación puesto que estos no son reciclables, al percibir este problema se vio que podrían aprovecharse para generar un modificador de asfalto.
- En nuestro país como en otros países aun no se ha industrializado este producto modificador de asfalto a nivel comercial, por ello para la investigación se ha procedido a fabricar el modificador con el criterio que resulte un producto fácil de mezclar con el cemento asfáltico que resulte ser el pasante del tamiz N°100. puesto que las partículas pasantes son de (0.149mm).
- Se ha adoptado para la investigación los porcentajes de 5%, 10% y 15% debido a que la bibliografía establece que los modificadores están según el instituto del asfalto de Estados Unidos en menor al 10%, por esta razón el

criterio a sido variar entre 5% y 15% para evaluar la incidencia que tendrá el modificador, otra de las razones fue la económica puesto que teniendo porcentajes de polímero mayores a 15% el costo de la mezcla asfáltica puede volverse demasiado alto.

- Los resultados nos proporcionan la posibilidad de encontrar un porcentaje óptimo de modificador considerando que será óptimo aquel que pueda proporcionarnos valores más altos en las propiedades de la mezcla.
- Para obtener el porcentaje optimo de cemento asfaltico se eligió el método del instituto de asfalto en MS-2 se siguieron los siguiente pasos:

Determinar:

Contenido de asfalto en la estabilidad máxima.

Contenido de asfalto en la densidad máxima

Contenido de asfalto en el punto medio del rango de volúmenes de aire especificado (4% típicamente)

Promediar los tres contenidos de asfaltos seleccionados.

Para el promedio del contenido de asfalto se determino las siguientes propiedades:

Estabilidad Marshall

Flujo

Porcentaje de vacíos llenos de asfalto

Se comparo estos valores con los criterios de aceptación del siguiente cuadro:

Figura N°: 4.1 Criterio de diseño Marshall para Superficies y Bases

Diseño de Mezclas Método Marshall	Tráfico					
	Ligero		Medio		Pesado	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Compactación N° golpes/cara	35		50		75	
Estabilidad, lb(N)	750 (333)		1200 (5333)		1800 (8000)	
Flujo 0.01 Pulg (0.25 mm)	8	18	8	16	8	14
Vacios de aire, %	3	5	3	5	3	5

Fuente: The Asphalt Institute

4.2 MUESTREO DE MATERIALES:

Para este trabajo de investigación se han utilizados tres tipos de materiales, los agregados gruesos triturados de tamaños 1", ½" el y el agregado fino pasante del tamiz N^o4 que fueron provenientes del río "Tacuara", la misma que está ubicada en el sector de Cañas, esto es a 7 Km de la Ciudad de Tarija. Los materiales triturados, fueron obtenidos en la planta trituradora, y que se encontraban en la planta de asfaltos de la empresa ERIKA S.R.L.

4.2.1 Agregados

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopiado, y manejo, para:

- Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación, y proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra.

Obviamente, no resulta práctico ensayar todo el agregado que está siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio. Solo es posible ensayar muestras de estos materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Es muy importante, por lo tanto, tener técnicas apropiadas de muestreo, (basados en la norma AASHTO T 2-91 y su equivalente ASTM D 75-87).

También se incluye información sobre el peso recomendado de la muestra, con base en el tamaño máximo de la partícula de agregado. Además, debe recordarse que las muestras más representativas son generalmente tomadas de las bandas transportadoras de agregado, y no de los acopios o depósitos.

Después de haber seleccionado una muestra de agregado, es a veces necesario reducir su tamaño (volumen) a uno más conveniente para que pueda ser manejada y ensayada. Debido a que este proceso de reducción puede causar segregación, es necesario tener mucho cuidado para poder preservar la integridad de la muestra. Generalmente, es preferible usar el partidador mecánico de muestras con agregados

gruesos o agregados finos secos. Por otro lado, el cuarteo es el mejor método cuando la muestra de agregado esta húmeda. La reducción de la muestra se hace en base al tamaño máximo nominal del agregado y de acuerdo a la norma AASHTO T 248-02 y su equivalente ASTM C 702-98 (2003), describe ambos métodos en detalle.

Figura N° 4.2 Reducción de muestras de agregado: Método del cuarteo manual



Fuente: Planta de asfalto de la empresa ERIKA S.R.L.

El método de cuarteo manual deberá ser usado cuando no se disponga de partidores mecánicos.

4.2.2 Cemento asfáltico

Para el desarrollo de este trabajo se han empleado muestras de procedencia BRASIL. (Planta concón).

Para obtener muestras representativas de cemento asfáltico a ser utilizado en ensayos de laboratorio, se realizaron 3 muestreos, en cada muestreo se recolectaron 3 litros de asfalto en recipientes metálicos nuevos de un litro cada uno.

Figura N° 4.3 Recipientes metálicos para muestreo de cemento asfáltico



Fuente: Propia

Normalmente las muestras de asfalto se toman de la válvula de muestreo en la línea de entrega hacia la cámara de mezclado.

Ocasionalmente, las muestras se toman del dispositivo de muestreo carro tanque o del tanque de almacenamiento. Según a la norma ASTM 140-09, se deben tener en cuenta las siguientes reglas para muestrear asfalto:

- El ligante asfáltico será muy caliente cuando se haga el muestreo, por esta razón se deben usar elementos de protección como: guantes, protector para la cara y camisas de manga larga, para protegerse de las quemaduras.
- Para asegurarse que las muestras sean representativas, deben ser tomadas de las válvulas de muestreo construidas para tal propósito.
- Solamente se deben usar recipientes nuevos, limpios y secos.
- Por lo menos un cuarto de galón debe dejarse drenar por la válvula de muestreo, antes de tomar muestras. Esto permite limpiar la válvula y la línea, ayuda a obtener una muestra representativa.
- Los recipientes una vez llenos deben sellarse con una tapa hermética y precisa. Cualquier material derramado debe ser secado inmediatamente con un paño limpio y seco pero nunca con el paño empapado o remojado en disolvente.

Figura N°4.4 Válvula específica para muestreo de cemento asfáltico



Fuente: Planta de asfaltos de la empresa ERIKA S.R.L

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

4.3.1 Agregados

Ensayo de desgaste de los ángeles (ASTM C-131).

Procedencia: Chancadora Tacuara

GRADACIÓN: ("A ") - ("B ") - ("C ") - ("D ")

CARGA ABRASIVA CON: ("12 ") - ("11 ") - ("8 ") - ("6 ")

Porciones de muestra:

Tabla 4.1: Ensayo de desgaste de los Ángeles (grava)

PASADO	RETENIDO	CANTIDAD TOMADA EN GRAMOS
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
CANTIDAD TOTAL DE MATERIAL TOMADO :		5000
RETENIDO EN TAMIZ DE CORTE N° 12 (1,7 mm.)		3935
DIFERENCIA :		1065
DESGASTE :		21,30%

Fuente: Propia

Procedencia: Chancadora Tacuara

GRADACIÓN: ("A") - ("B") - ("C") - ("D")

CARGA ABRASIVA CON: ("12") - ("11") - ("8") - ("6")

Porciones de muestra:

Tabla 4.2: Ensayo de desgaste de los Ángeles (gravilla)

PASADO	RETENIDO	CANTIDAD TOMADA EN GRAMOS
3/8"	1/4"	2500
1/4"	Nº 4	2500
CANTIDAD TOTAL DE MATERIAL TOMADO :		5000
RETENIDO EN TAMIZ DE CORTE Nº 12 (1,7 mm.)		3938,8
DIFERENCIA :		1061
DESGASTE :		21,22%

Fuente: Propia

Peso específico**Peso específico del agregado grueso (ASTM D-127).****Procedencia: Chancadora Tacuara**

Tabla N° 4.3 Ensayo de gravedad específica del agregado grueso

DETERMINACIÓN N°	Muestra - 1	Muestra - 2		
A (Peso en el aire de la muestra seca	2895,0 gr	3006,0 gr	PROMEDIO	
B (Peso en el aire muestra saturada- superficie seca	2915,0 gr	3028,0 gr		
Peso canastillo + muestra sumergida en agua	2614,0 gr	2683,0 gr		
Peso canastillo sumergido en agua	787,0 gr	787,0 gr		
C (Peso sumergido en agua de la muestra saturada	1827,0 gr	1896,0 gr		
D = B - C	1088,0	1132,0		
E = A - C	1068,0	1110,0		
F = B - A	20,0	22,0		
"G" PESO ESPECIFICO APARENTE (Gr/cm³)	2,711 gr/cm ³	2,708 gr/cm ³	2,709 gr/cm³	2,682 gr/cm³
"Gb" PESO ESPECIFICO BULK (Gr/cm³)	2,661 gr/cm ³	2,655 gr/cm ³	2,658 gr/cm³	
"Gbs" PESO ESPECIFICO BULK S.S.S (Gr/cm³)	2,679 gr/cm ³	2,675 gr/cm ³	2,677 gr/cm³	
(%) PORCENTAJE DE ABSORCION	0,69%	0,73%	0,71 gr/cm ³	

Fuente: Propia

Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM D-128).

Procedencia: Chancadora Tacuara

Tabla N° 4.4 Ensayo de gravedad específica del agregado fino

DETERMINACIÓN N°	Muestra - 1	Muestra - 2	PROMEDIO
Picnómetro	1	2	
Temperatura	25	25	
A (Peso en el aire de la muestra seca	494,5 gr	493,9 gr	
B (Peso muestra saturada con superficie seca	500,0 gr	500,0 gr	
X (Peso del picnómetro + agua + muestra	970,5 gr	1174,9 gr	
J (Peso del picnómetro + agua	658,9 gr	863,4 gr	
E = X - J	312	312	
F = B - A	5,50	6,10	
H = A - E	183	182	
I = B - E	188	189	
"G" PESO ESPECIFICO APARENTE (Gr/cm3)	2,704 gr/cm3	2,708 gr/cm3	2,706 gr/cm3
"Gb" PESO ESPECIFICO BULK (Gr/cm3)	2,625 gr/cm3	2,620 gr/cm3	2,622 gr/cm3
"Gbs" PESO ESPECIFICO BULK S.S.S (Gr/cm3)	2,654 gr/cm3	2,653 gr/cm3	2,653 gr/cm3
(%) PORCENTAJE DE ABSORCION	1,11%	1,24%	1,17 gr/cm3

Fuente: Propia

Ensayo de Durabilidad, perdida con sulfato de sodio AASHTO M 92

Tabla N° 4.5 Ensayo de durabilidad de los agregados

CALCULOS								
TAMICES			AGREGADO GRUESO					
TAMI Z PASA	TAMIZ RETENID O	MATERIA L %	PESO MATERIAL		PERDID A	% QUE PASA	% PERDIDA	% PERDIDA
			ANTES ENSAY O (NORMA)	DESPUES ENSAYO	DE PESO	TAMIZ + FINO	C/ TAMIZ	MUESTRA TOTAL
3/4"	1/2"	79,5	750	732,2	17,8	20,50	2,37	0,47
1/2"	3/8"	68,4	500	469,80	30,20	11,10	6,04	0,67
3/8"	N°4	51,9	300	285,40	14,60	16,50	4,87	0,80
					% PERDIDA			1,94
TAMICES			AGREGADO FINO					
TAMI Z PASA	TAMIZ RETENID O	MATERIA L %	PESO MATERIAL		PERDID A	% QUE PASA	% PERDIDA	% PERDIDA
			ANTES ENSAY O (NORMA)	DESPUES ENSAYO	DE PESO	TAMIZ + FINO	C/ TAMIZ	MUESTRA TOTAL
N°4	N°10	35,7	100	92,5	7,5	16,2	7,5	1,22
N°10	N°40	17,3	100	94,8	5,2	18,4	5,2	0,96
N°40	N°80	11,2	100	95,70	4,3	6,1	4,2	0,26
					% PÉRDIDA			2,44
					% PÉRDIDA TOTAL			4,38

Fuente: Propia

Equivalente de arena (ASTM D-2419).

Procedencia: Chancadora Tacuara

Material pasante del tamiz N° 4

Tabla N° 4.6 Ensayo de equivalente de arena

DETERMINACIONES	MUESTRA N°1
Lectura Nivel Superior Suspensión	134
Lectura Nivel Superior Sedimento	73,0
EQUIVALENTE ARENA	54,5

DETERMINACIONES	MUESTRA N°2
Lectura Nivel Superior Suspensión	135
Lectura Nivel Superior Sedimento	75,0
EQUIVALENTE ARENA	55,6

DETERMINACIONES	MUESTRA N°3
Lectura Nivel Superior Suspensión	133
Lectura Nivel Superior Sedimento	75,0
EQUIVALENTE ARENA	56,4

RESUMEN	
Muestra N°1 =	54,5 %
Muestra N°2 =	55,6 %
Muestra N°3 =	56,4 %
EQUIVALENTE ARENA PROMEDIO =	56,0 %

Fuente: Propia

4.3.1 Cemento asfáltico

4.3.1.1 Cemento asfáltico convencional

Ensayo de peso específico (ASTM D-70).

Descripción: bitumen plus (CA 85-100) Procedencia: Brasil

Penetración: 85-100

Tabla N° 4.7 Peso específico del cemento asfáltico convencional

CÁLCULOS	
PICNOMETRO N°	1
TEMPERATURA °C	25
a) (W - 1) PESO PICNÓMETRO VACIO , grs.	32,50
b) (W - 4) PESO PICNÓMETRO + H2O , grs.	66,21
c) (W - 2) PESO PICNÓMETRO + C. ASFALTICO, grs.	50,5
d) (W - 3) PESO PICNÓMETRO + H2O + C. ASF., grs.	66,27
PESO ESPECÍFICO CEMENTO ASFÁLTICO	1,003 gr/cm ³

Fuente: Propia

Ensayo de penetración (ASTM D-5).

Descripción: bitumen plus (CA 85-100) Procedencia: Brasil

Penetración: 85-100 Temperatura de ensayo: 25°C Tiempo de penetración: 5 seg.

Pesa 100gr

Tabla N° 4.8 Ensayo de penetración

PRUEBA #	1	2	3	PROMEDIOS
Muestra # 1	94	94	95	94,3
Muestra # 2	93	94	94	93,7
Muestra # 3	96	94	95	95,0

Muestra # 4	96	94	94	94,7
PROMEDIO TOTAL	94,4			

Fuente: Propia

Ensayo de punto de ignición (ASTM D-92).

Procedencia: Brasil

Penetración: 85-100

Tabla N° 4.9 Ensayo de punto de inflamación

PRUEBA #	1
Muestra # 1	271
Muestra # 2	270
Muestra # 3	272
Muestra # 4	271
PROMEDIO TOTAL	271,0

Fuente: Propia

Ensayo de ductilidad (ASTM D-113).

Procedencia: Brasil Penetración: 85-100 Temperatura de ensayo: 25°C

Tabla N° 4.10 Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico

PRUEBA #	1
Muestra # 1	133,8
Muestra # 2	133
Promedio total	133,4

PRUEBA #	2
Muestra # 1	135,6
Muestra # 2	134,2
Promedio total	134,9

Fuente: Propia

Ensayo de viscosidad saybolt-furol (ASTM E-102).

Procedencia: Brasil Penetración: 85-100 Asfalto convencional

Tabla N° 4.11 Ensayo de viscosidad del cemento asfáltico

Punto	Temperatura	Viscosidad
1	125	420
2	135	226
3	145	132
4	155	77

Fuente: Propia

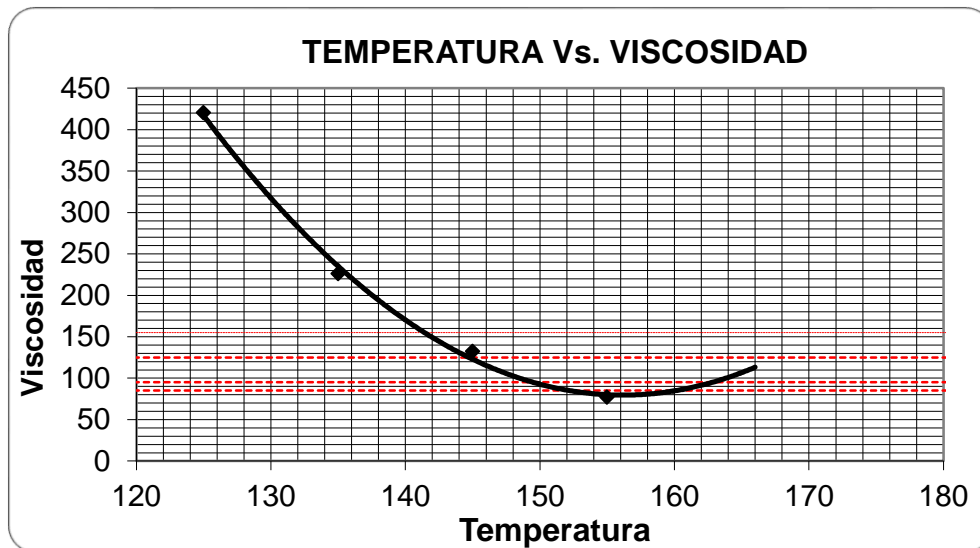
MEZCLA: viscosidad 85 – 95 Saybolt Furol

Temperatura: 152 – 153 °C

COMPACTACION: viscosidad 125 – 155 Saybolt Furol

Temperatura: 143 – 147 °C

Figura N° 4.5 Viscosidad - temperatura de cemento asfáltico



Fuente: Propia

Ensayo de punto de reblandecimiento anillo y bola (ASTM D-36).

Procedencia: Brasil Penetración: 85-100 Asfalto convencional

Resultados:

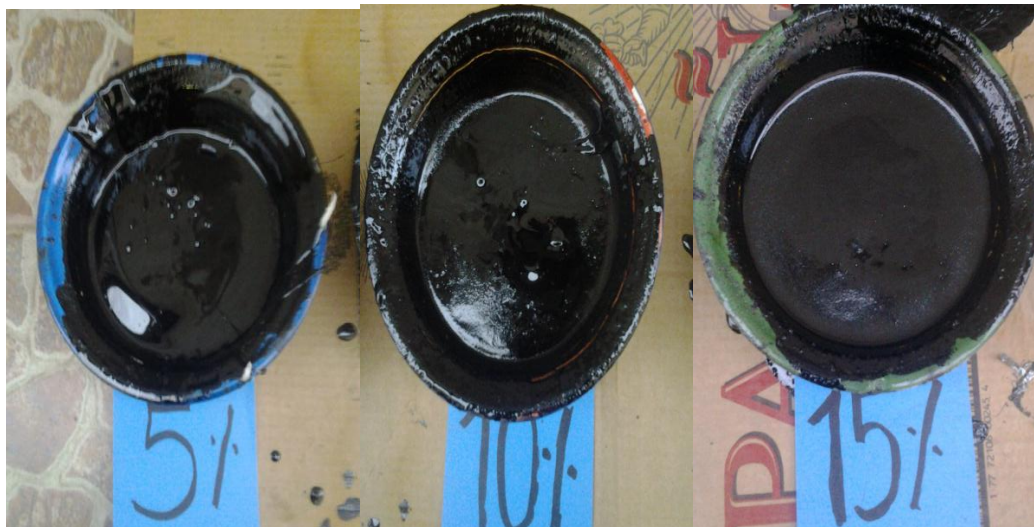
Tabla N° 4.12: Resultados de punto de reblandecimiento

Líquido empleado	Agua destilada
Punto de ablandamiento °C	44

Fuente: Propia

4.3.1.2 Cemento asfáltico modificado

Figura N° 4.6 Cemento asfáltico modificado con 5%, 10% y 15% de polímero



Fuente: Propia

Tabla N° 4.13 Ensayo de peso específico del cemento asfáltico modificado (ASTM D-70).

PORCENTAJE DE POLIMERO	5%	10%	15%
TEMPERATURA °C	25	25	25
a) (W - 1) PESO PICNÓMETRO VACIO , grs.	32,50	32,50	32,50
b) (W - 4) PESO PICNÓMETRO + H2O , grs.	66,21	66,21	66,21
c) (W - 2) PESO PICNÓMETRO + C. ASFÁLTICO, grs.	50,7	50,9	51
d) (W - 3) PESO PICNÓMETRO + H2O + C. ASF., grs.	66,29	66,31	66,34
PESO ESPECÍFICO CEMENTO ASFALTICO	1,004	1,005	1,007

Fuente: Propia

Ensayo de penetración (ASTM D-5).Tabla N° 4.14 Ensayo de penetración
Temperatura de ensayo: 25°C

PRUEBA: Usando 5% de polímero	1	2	3	PROMEDIOS
Muestra # 1	80	80	81	80,3
Muestra # 2	80	85	80	81,7
Muestra # 3	85	80	80	81,7
Muestra # 4	85	80	80	81,7
PROMEDIO TOTAL	81,3			

Temperatura de ensayo 25°C

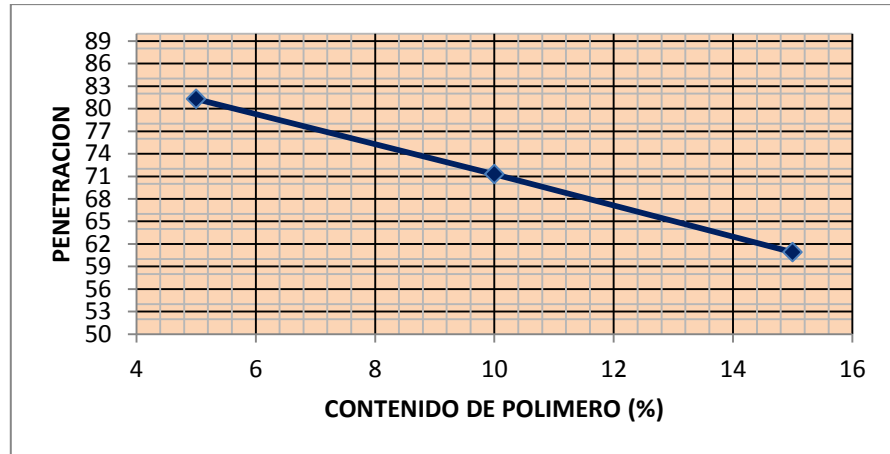
PRUEBA: Usando 10% de polímero	1	2	3	PROMEDIOS
Muestra # 1	70	72	70	70,7
Muestra # 2	70	71	70	70,3
Muestra # 3	70	71	75	72,0
Muestra # 4	70	74	73	72,3
PROMEDIO TOTAL	71,3			

Temperatura de ensayo 25°C

PRUEBA: Usando 15% de polímero	1	2	3	PROMEDIOS
Muestra # 1	61	62	60	61,0
Muestra # 2	61	59	60	60,0
Muestra # 3	60	63	60	61,0
Muestra # 4	60	60	65	61,7
PROMEDIO TOTAL	60,9			

Fuente: Propia

Figura N°4.7 Penetración en función del contenido de polímero



Fuente: Propia

La figura muestra los resultados del ensayo de penetración a 25°C, realizado para el asfalto modificado con 5%, 10% y 15%. La penetración disminuye progresivamente con el incremento del contenido de polímero.

Ensayo de punto de ignición (ASTM D-92).

Tabla N° 4.15 Ensayo de punto de ignición del cemento asfáltico

Asfalto con polímero:	1
Muestra con 5%	>232 °C
Muestra con 10%	>232 °C
Muestra con 15%	>232 °C

Fuente: propia

Ensayo de ductilidad (ASTM D-113).

Tabla N° 4.16 Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico

PRUEBA: 5% Polímero	1
Muestra # 1	100
Muestra # 2	99
PROMEDIO TOTAL	99,5

PRUEBA: 5% de Polímero	2
Muestra # 1	105
Muestra # 2	100
PROMEDIO TOTAL	102,5

Temperatura de ensayo 25°C:

PRUEBA: 10% de Polímero	1
Muestra # 1	95
Muestra # 2	95
PROMEDIO TOTAL	95,0

PRUEBA 10% de Polímero	2
Muestra # 1	97
Muestra # 2	95
PROMEDIO TOTAL	96,0

Temperatura de ensayo 25°C:

PRUEBA 15% de polímero	1
Muestra # 1	80
Muestra # 2	83
PROMEDIO TOTAL	81,5
PRUEBA 15% de polímero	2
Muestra # 1	82
Muestra # 2	81
PROMEDIO TOTAL	81,5

Fuente: propia

Ensayo de viscosidad saybolt-furol (ASTM E-102).**Viscosidad con el 5% de polímero**

Tabla N° 4.17 Viscosidad 5% polímero

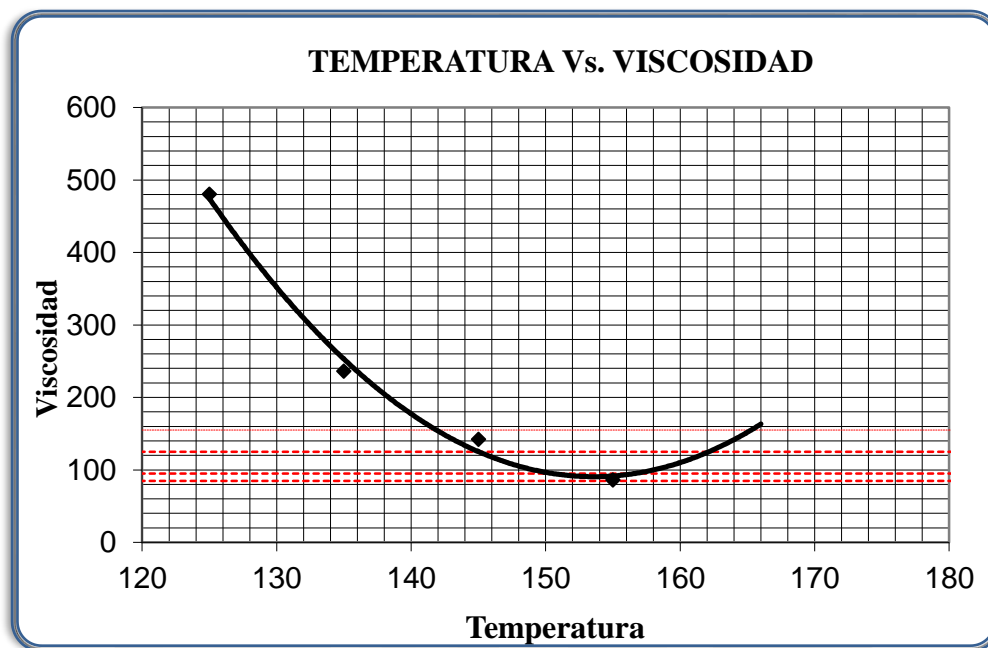
Punto	Temperatura	Viscosidad
1	125	480
2	135	236
3	145	142
4	155	86

Fuente: Propia

MEZCLA: Temperatura: 153 – 155 °C

COMPACTACION: Temperatura: 144 – 148 °C

Figura N°4.8 Viscosidad - temperatura de cemento asfáltico



Fuente: Propia

Viscosidad con el 10% de polímero

Tabla N° 4.18 Viscosidad 10% de polímero

Punto	Temperatura	Viscosidad
1	125	460
2	135	241

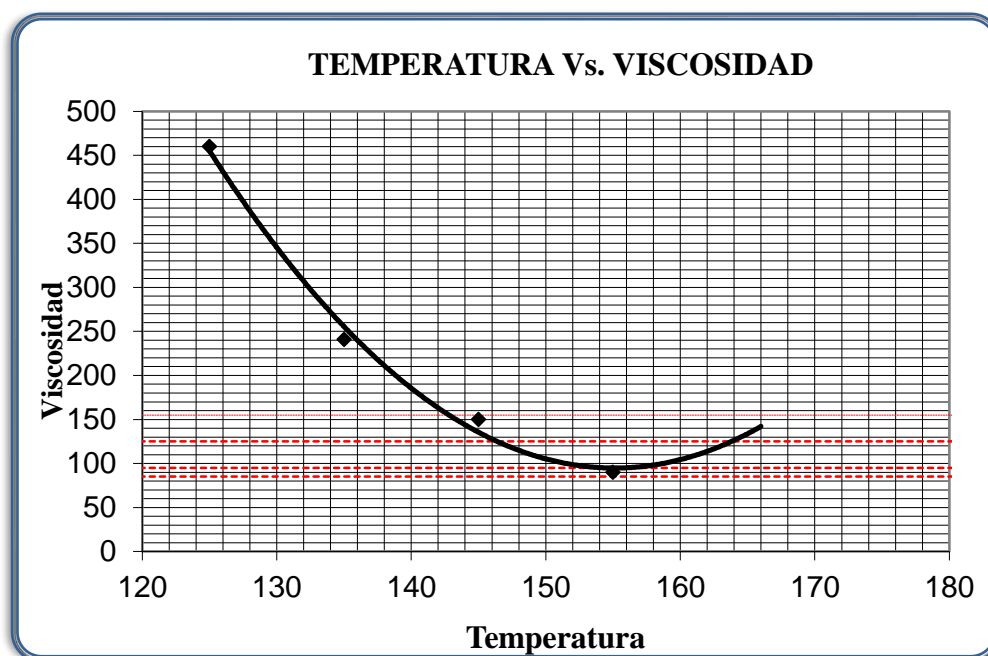
3	145	150
4	155	90

Fuente: Propia

MEZCLA: Temperatura: 154 – 156 °C

COMPACTACION: Temperatura: 145 – 149 °C

Figura N°4.9 Viscosidad - temperatura de cemento asfáltico



Fuente: Propia

Viscosidad con el 15% de polímero

Tabla N° 4.19 Viscosidad 15% de polímero

Punto	Temperatura	Viscosidad
1	125	470
2	135	250

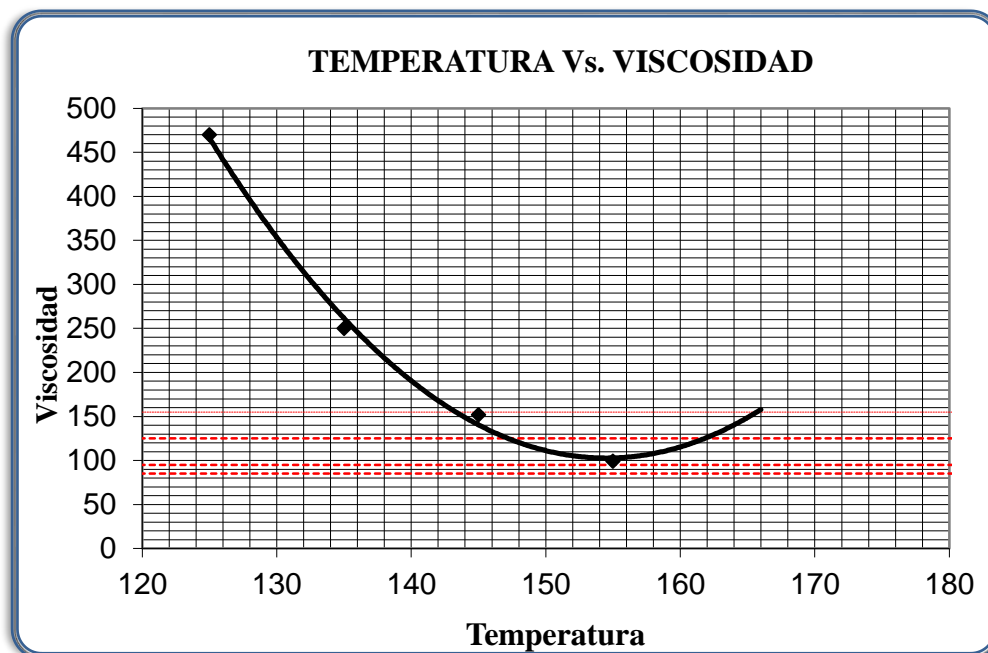
3	145	152
4	155	99

Fuente: Propia

MEZCLA: Temperatura: 155 – 157 °C

COMPACTACION: Temperatura: 146 – 150 °C

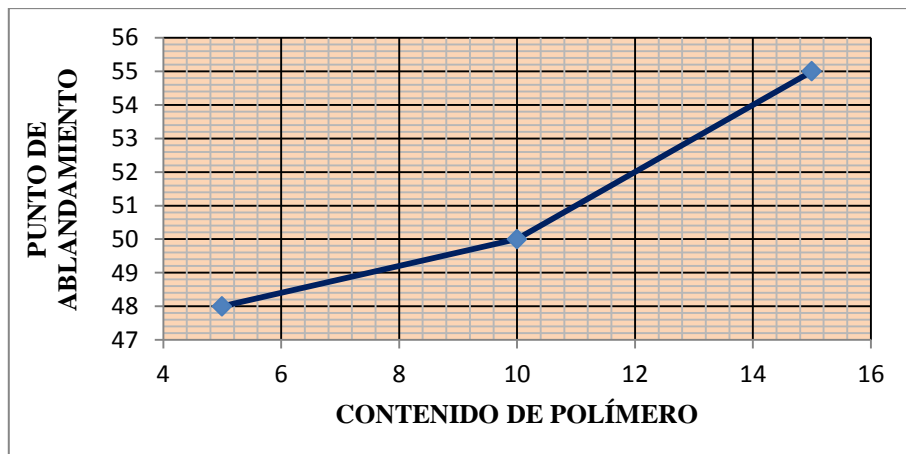
Figura N°4.10 Viscosidad - temperatura de cemento asfáltico



Fuente: Propia

Ensayo de punto de reblandecimiento anillo y bola (ASTM D-36).

Figura N°4.11 Punto de ablandamiento en función del contenido de polímero



Fuente: Propia

En la figura se muestran los resultados obtenidos para la temperatura de ablandamiento en función del polímero, asfaltos con temperaturas de ablandamiento mas altas son menos susceptibles a la deformación permanente, el punto de ablandamiento incremento con el contenido de polímero.

Tabla N° 4.20 Resumen y características de los materiales del cemento asfáltico
Características del cemento asfáltico convencional

CEMENTO ASFALTICO 85-100					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Peso específico	gr./cm ³	1.003	-	-	T-228
Penetración a 25 °C; 100 gr., 5 seg.	mm.	94.4	85	100	T-49
Punto de ignición	°C	271	232	-	ASTM
Ductilidad	mm	134,9	100	-	T-228
Viscosidad saybolt-furol	°C		-	-	ASTM
Punto de reblandecimiento	°C	44	43	48	ASTM-

					.D16
--	--	--	--	--	------

Fuente: Propia

Tabla N° 4.21 Resumen y características de los agregados

AGREGADOS					
Ensayo	Unid.	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Desgaste de Los Ángeles Grad. "B"	%	21.30	-	40	T-96
Desgaste de Los Ángeles Grad. "C"	%	21.22	-	40	T-96
Peso específico agregado grueso	gr./cm ³	2.682	-	-	T-166
Peso específico agregado fino	gr./cm ³	2.706	-	-	T-100
Durabilidad, perdida con sulfato de sodio (agregado grueso)	%	1.94		12	-
Durabilidad, perdida con sulfato de sodio (agregado grueso)	%	2.44		12	-
Equivalente de arena	%	56	50	-	T-176

Fuente: Propia

Tabla N° 4.22 Características del cemento asfáltico modificado con 5% de polímero

CEMENTO ASFALTICO 85-100 CON 5% DE POLIMERO					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Peso específico	gr./cm ³	1.004	-	-	T-228
Penetración a 25 °C; 100 gr., 5 seg.	mm.	81.33	-	-	T-49
Punto de ignición	°C	>232	-	-	ASTM

Ductilidad	mm	101	-	-	T-228
Viscosidad saybolt-furol	°C		-	-	ASTM
Punto de reblandecimiento	°C	48	-	-	ASTM-.D16

Fuente: Propia

Tabla N° 4.23 Características del cemento asfáltico modificado con 10% de polímero

CEMENTO ASFALTICO 85-100 CON 10% DE POLIMERO					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Peso específico	gr./cm ³	1.005	-	-	T-228
Penetración a 25 °C; 100 gr., 5 seg.	mm.	71.3	-	-	T-49
Punto de ignición	°C	>232	-	-	ASTM
Ductilidad	mm	95.5	-	-	T-228
Viscosidad saybolt-furol	°C		-	-	ASTM
Punto de reblandecimiento	°C	50	-	-	ASTM-.D16

Fuente: Propia

Tabla N° 4.24 Características del cemento asfáltico modificado con 15% de polímero

CEMENTO ASFALTICO 85-100 CON 15% DE POLIMERO					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Peso específico	gr./cm ³	1.007	-	-	T-228
Penetración a 25 °C; 100 gr., 5 seg.	mm.	60,9	-	-	T-49
Punto de ignición	°C	>232	-	-	ASTM
Ductilidad	mm	81.5	-	-	T-228
Viscosidad saybolt-furol	°C		-	-	ASTM
Punto de reblandecimiento	°C	55	-	-	ASTM-D16

Fuente: Propia

4.4 ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

4.4.1 Preparación de materiales

Los diferentes agregados y asfaltos presentan distintas características estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento.

El primer caso en el método de diseño entonces es definir las cualidades (Estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto se puede comenzar con la preparación de ensayos.

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras de asfalto y del agregado que va a ser usado en la mezcla de pavimentación. Es importante que las mezclas de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es

simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula o receta para la mezcla de pavimentación.

Preparación del agregado: La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocido para poder establecer las temperaturas de mezclado y compactaciones en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar análisis granulométrico.

- Secado del agregado: el método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayados se coloca en una bandeja por separado, y se calienta en un horno a una temperatura de 110°C.
- Después de 24 horas, la muestra caliente se pesa, se registra su valor, la muestra se calienta por segunda vez, y se vuelve a pesar y registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante, el cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado en la muestra.

4.4.2 Dosificación de mezclas

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base a la experiencia previa con los agregados en la mezcla. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calienta y mezcla completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en planta.

- Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes precalentados Marshall como preparación para la compactación, donde se usa el martillo Marshall de compactación que también debe estar precalentado, para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo (75 golpes) de depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes, así una probeta de 75 golpes recibe realmente un total de 150 golpes, después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

Determinación del peso específico total

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado para temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASTHO-166.

Ensayos de estabilidad y fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia, mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- Las probetas son calentadas en baño de agua a 60°C esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va experimentar.
- La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre una probeta, y de unos medidores de carrera y deformación (fluencia).

- La carga de ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm (dos pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla esta definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall (medida en libras o N ewtones) y la lectura del medidor de fluencia (en cent esimas de pulgada) se registra como la fluencia.

Valor de estabilidad Marshall

El valor de estabilidad es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga m axima. La carga m axima indicada por el medidor es el valor de estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es buena, entonces un valor mas alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la Resistencia del material, es, frecuentemente, una medida de su calidad, sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

Valor de fluencia Marshall

La fluencia Marshall, medida en cent esimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación esta indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de transito.

Análisis de densidad de vacíos

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Análisis de vacíos

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y del agregado de la muestra, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado, o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en el aire y agua.

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

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el “Volumen efectivo de asfalto” y el volumen de vacíos en la mezcla.

Vacíos llenos de aire: En una mezcla de granulometría densa con un contenido óptimo de asfalto se ha dado en el rango de 3% a 5% la capa de mezcla asfáltica en caliente da una superficie que es relativamente impermeable tanto al aire como al agua; si los vacíos en el sitio es ligeramente mayor al 3 al 5%.

4.4.3 Ensayos Marshall

Análisis granulométrico de grava por tamizado (AASHTO t-27)

Áridos: Chancadora Tacuara

HUMEDAD HIGROSCOPICA	PESO SECO DE LA MUESTRA
Recipiente #	Muestra Total Húmeda

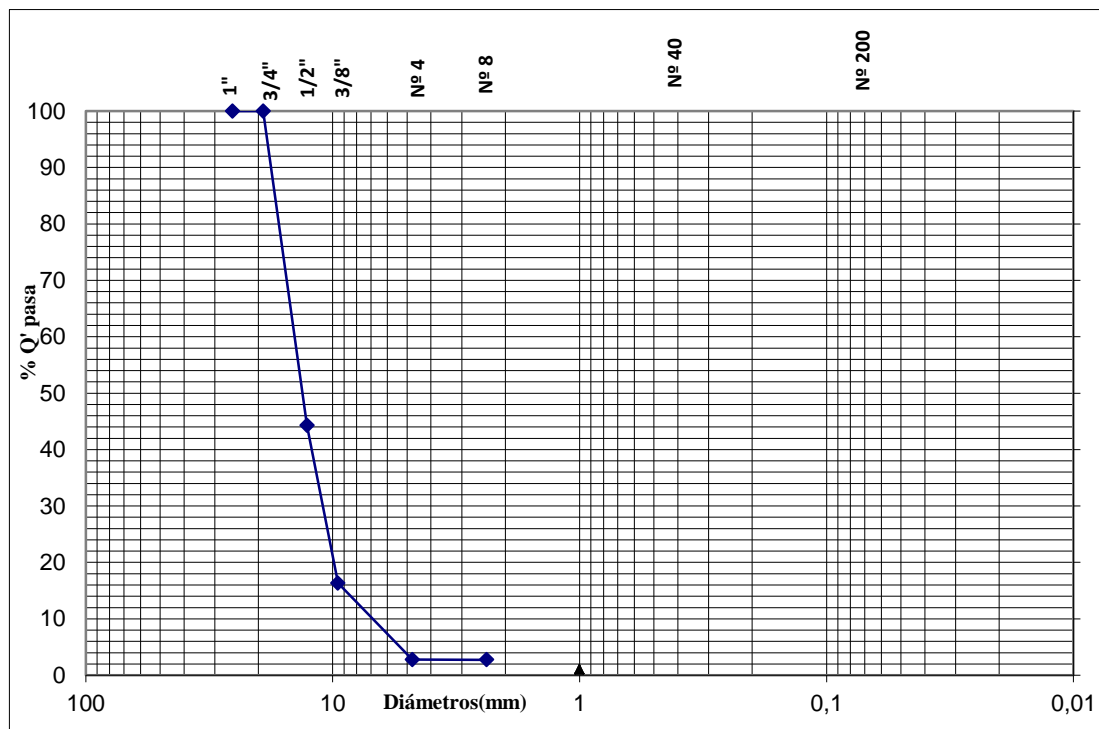
Suelo húmedo + Recipiente	Agregado grueso (ret T#4)	
Suelo Seco + Recipiente	Pasa T#4 Húmedo	
Peso del Agua	Pasa T#4 Seco	
Peso del Recipiente	Muestra Total Seca	5133,00 gr
Peso del Suelo Seco		
Porcentaje de Humedad		

Tabla 4.25 Granulometría del agregado grueso

TAMIZ	Peso ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total
		grs	%		
1"	0	0	0,0	25,40	100,0
3/4"	0	0	0,0	19,10	100,0
1/2"	2860,9	2860,9	55,7	12,70	44,3
3/8"	1434,7	4295,6	83,7	9,52	16,3
#4	695,8	4991,4	97,2	4,76	2,8
#10	0,8	4992,2	97,3	2,38	2,7

Fuente: Propia

Figura N° 4.12 Granulometria del agregado grueso



Fuente: Propia

Análisis granulométrico de grava por tamizado (AASHTO T-27)**Áridos: Chancadora Tacuara**

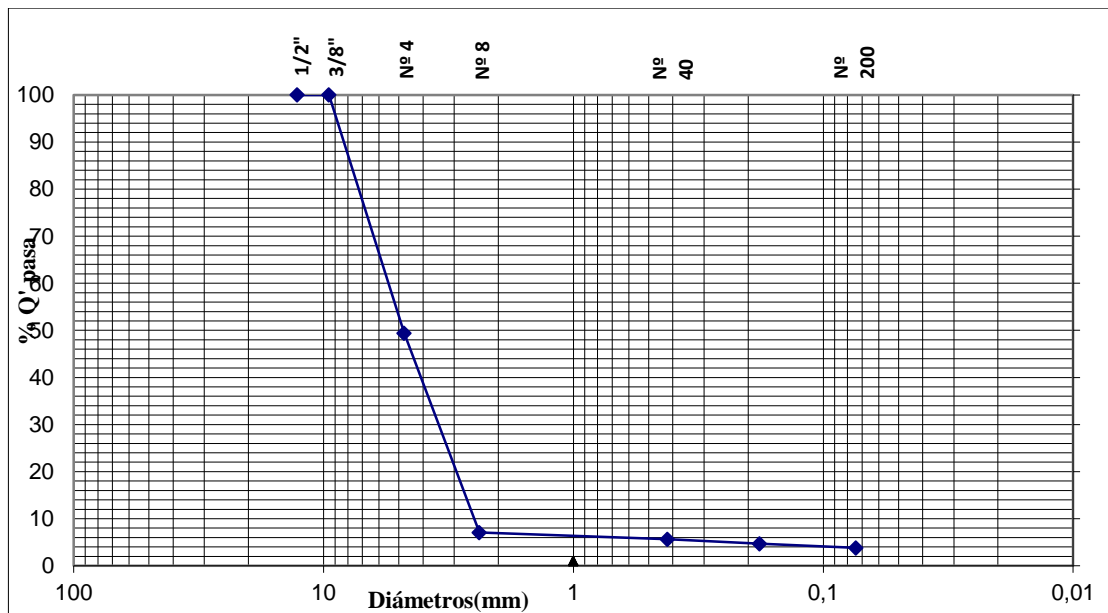
HUMEDAD HIGROSCOPICA	PESO SECO DE LA MUESTRA
Recipiente #	Muestra Total Húmeda
Suelo húmedo + Recipiente	Agregado grueso (ret T#4)
Suelo Seco + Recipiente	Pasa T#4 Húmedo
Peso del Agua	Pasa T#4 Seco
Peso del Recipiente	Muestra Total Seca 3688,00 gr
Peso del Suelo Seco	
Porcentaje de Humedad	

Tabla 4.26 Granulometría Agregado intermedio

TAMIZ	Peso ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total
		grs	%		
1/2"	0	0	0,0	12,75	100,0
3/8"	0	0	0,0	9,52	100,0
#4	1866	1866	50,6	4,76	49,4
#10	1562	3428	93,0	2,38	7,0
#40	52	3480	94,4	0,42	5,6
#80	35	3515	95,3	0,18	4,7
#200	33	3548	96,2	0,07	3,8

Fuente: Propia

Figura N° 4.13 Granulometria del agregado intermedio



Fuente: Propia

Análisis granulométrico de grava por tamizado (AASHTO T-27)

Áridos: Chancadora Tacuara

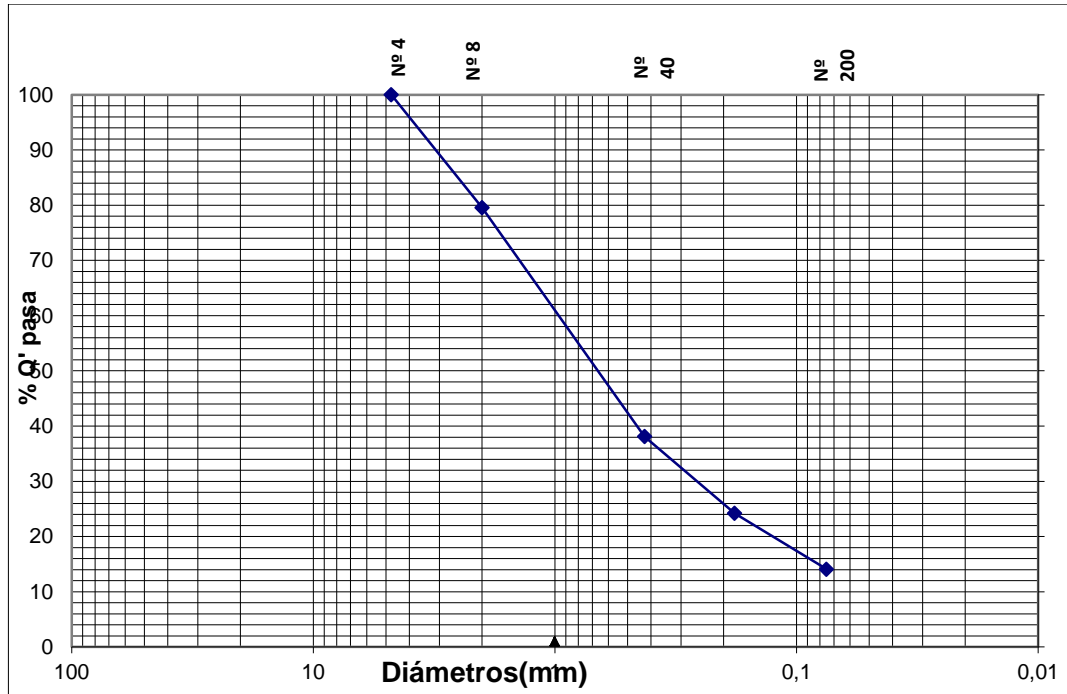
HUMEDAD HIGROSCOPICA		PESO SECO DE LA MUESTRA	
Recipiente #		Muestra Total Húmeda	
Suelo húmedo + Recipiente		Agregado grueso (ret T#4)	
Suelo Seco + Recipiente		Pasa T#4 Húmedo	
Peso del Agua		Pasa T#4 Seco	
Peso del Recipiente		Muestra Total Seca	1049,10 gr

Tabla 4.27 Granulometría Agregado fino

TAMIZ	Peso ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total
		grs	%		
#4	0	0	0,0	4,75	100,0
#10	214,3	214,3	20,4	2,00	79,6
#40	435,1	649,4	61,9	0,43	38,1
#100	145,8	795,2	75,8	0,18	24,2
#200	106	901,2	85,9	0,075	14,1

Fuente: Propia

Figura N° 4.14 Granulometría Agregado fino



Fuente: Propia

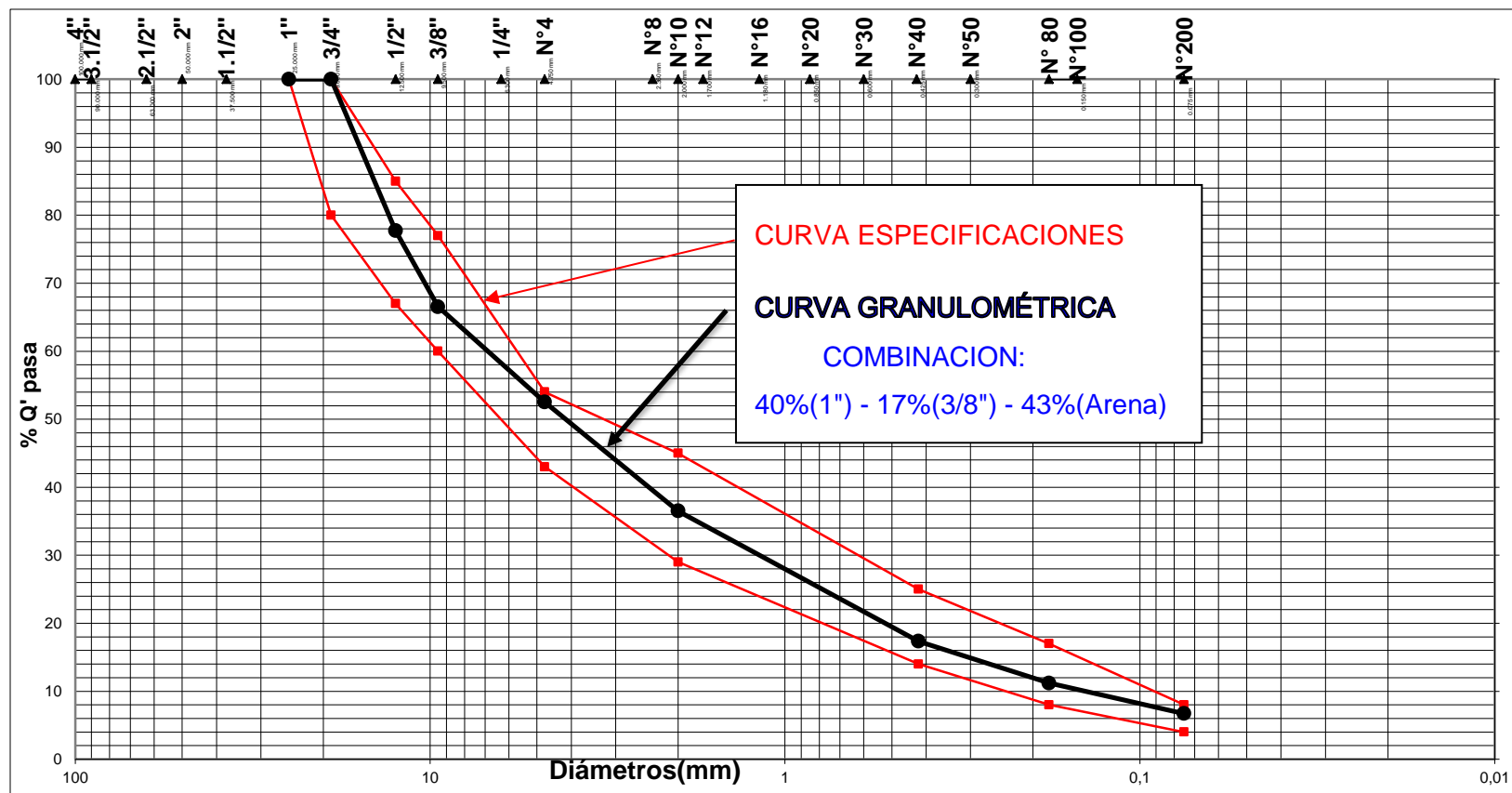
Tabla 4.28 DETERMINACION DE LA FORMULA DE TRABAJO

AGREGADO		GRAVA 1"		INT. GRAVA 3/8"		ARENA TRIT N°4		CURVA DE TRABAJO	FAJA		TOLERANCIAS	
% USADO		40%		17%		43%			TRABAJO			
TAMICES		% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.					
PULG	mm.											
3/4"	19,00		0,00	0,00	0,00	100,00	43,00	100,00	80	100	+-	0%
1/2"	12,50	44,3	17,7	100,00	17,00	100,00	43,00	77,71	67	85	+-	0%
3/8"	9,50	16,3	6,5	100,00	17,00	100,00	43,00	66,53	60	77	+-	6%
#4	4,75	2,8	1,1	49,4	8,40	100,00	43,00	52,50	46	56	+-	6%
#10	2,00	2,7	1,1	7,0	1,2	79,6	34,2	36,51	30	42	+-	0%
#40	0,42	0,0	0,0	5,6	1,0	38,1	16	17,3	14	20	+-	3%
#100	0,15	0,0	0,0	4,7	0,8	24,2	10,4	11,2	8	14	+-	3%
#200	0,075	0,0	0,0	3,8	0,65	14,1	6,1	6,7	5	9	+-	2%

Fuente: Propia

Para la mezcla asfáltica tanto convencional como modificada se trabajara con un 40% de grava, 17% de material intermedio y un 43% de arena triturada.

Figura N° 4.15 Análisis granulométrico de la mezcla de agregados



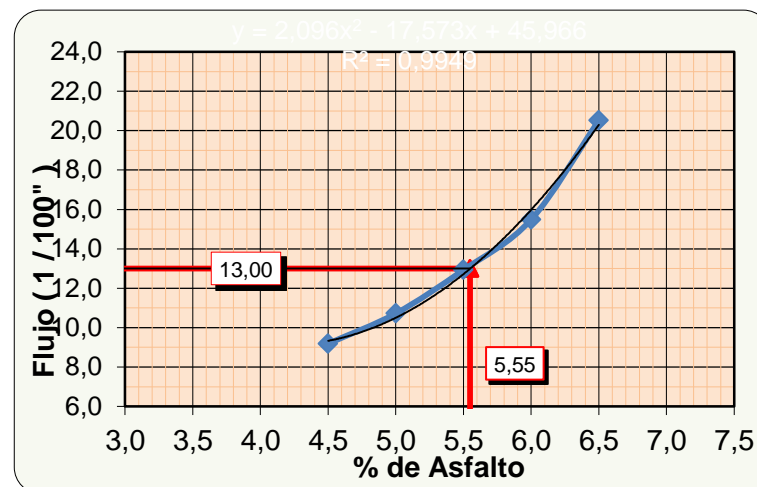
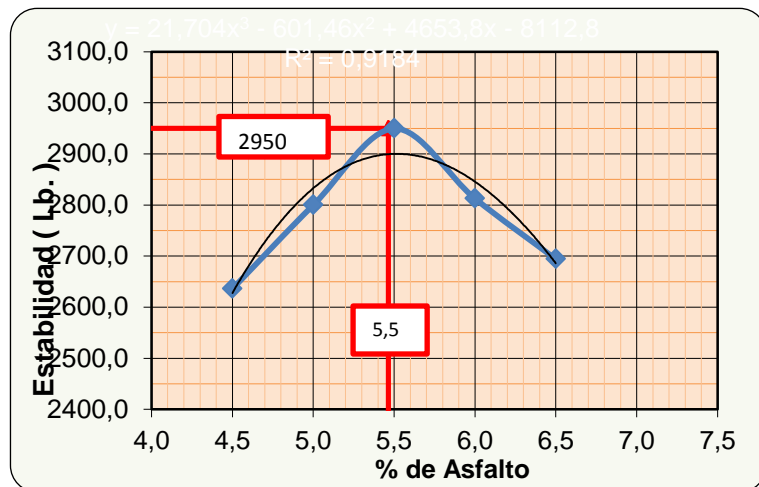
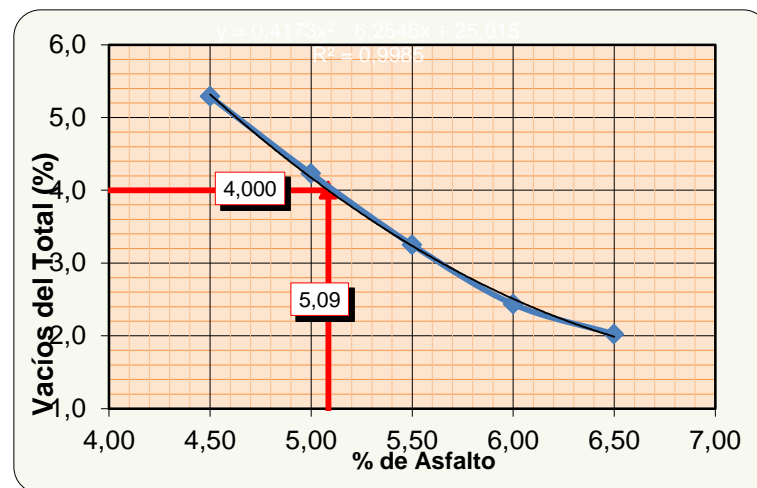
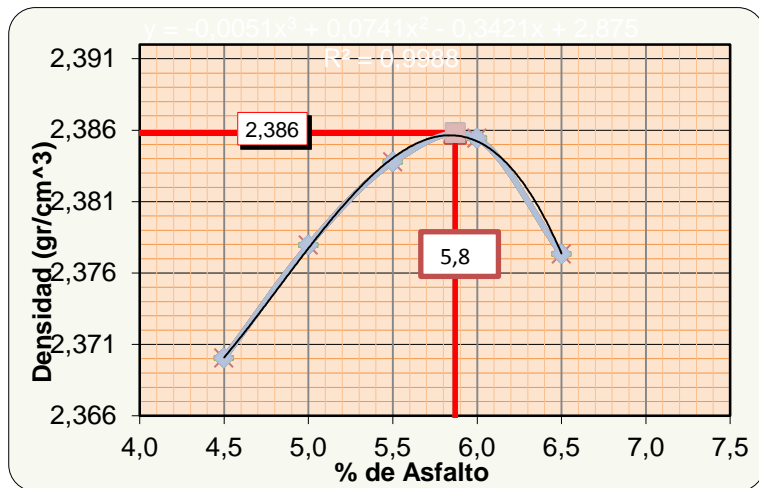
Fuente: Propia

Tabla 4.29 DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE / METODO MARSHALL”

PROYECTO DE GRADO:																						
Pesos específicos (AASHTO T-100, T-85) % de agregados C. Asfáltico AASHTO M-20													DOSIFICACION Nº1			GRAVA	INTERMEDIA	ARENA				
Mat. retenido Tamiz Nº4			2,682 gr/cm ³	59,500	Tipo de asfalto AASHTO M-20			85-100	% DE AGREGADOS :			40%	17%	43%								
Mat. Pasa Tamiz Nº4			2,706 gr/cm ³	40,5	P. Especifico Total AASHTO T-228			1,008	ORIGEN AGREGADOS :													
P. Esp. Agregado Total (Gsg):			2,692 gr/cm ³	100	Grado Penetración Asfalto:							85-100 BETUPEN S										
IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUM ERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacíos			ESTABILIDAD (Lb)					LEC. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA	
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA	(gr)	(gr)	(gr)	(cm ³)	REAL (Dr.)	PROMEDIO (Dm.)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO	LEC. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.				CORREGIDA
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p					
		(a * 100) / 100 - a		D		e - d	c / e	1	2	3	4											
1	6,33	4,71	4,50	1191,4	1193,8	690,1	503,7	2,365					106	2615,0		1,005			230	9,1		
2	6,31	4,71	4,50	1183,2	1185,3	687,0	498,3	2,374					105	2590,3		1,011			245	9,6		
3	6,32	4,71	4,50	1191,1	1193,0	690,5	502,5	2,370	2,370	2,502	5,29	15,9	66,8	107	2639,6	2615,0	1,008	1,008	2635,884	225	8,9	9,2
4	6,31	5,26	5,00	1191,5	1192,8	692,8	500,0	2,383					113	2787,7		1,011			282	11,1		
5	6,26	5,26	5,00	1193,8	1194,9	693,5	501,4	2,381					111	2738,3		1,024			260	10,2		
6	6,33	5,26	5,00	1194,9	1196,3	692,1	504,2	2,370	2,378	2,483	4,23	16,08	73,7	112	2763,0	2763,0	1,005	1,013	2799,821	275	10,8	10,72
7	6,26	5,82	5,50	1188,8	1190,0	691,2	498,8	2,383					115	2837,0		1,024			340	13,4		
8	6,28	5,82	5,50	1189,1	1190,7	691,5	499,2	2,382					117	2886,3		1,019			325	12,8		
9	6,30	5,82	5,50	1190,1	1191,7	692,9	498,8	2,386	2,384	2,464	3,25	16,32	80,09	120	2960,3	2894,6	1,013	1,019	2949,548	320	12,6	12,93
10	6,26	6,38	6,00	1191,9	1192,7	693,0	499,7	2,385					113	2787,7		1,024			388	15,3		
11	6,25	6,38	6,00	1187,4	1188,6	691,4	497,2	2,388					110	2713,6		1,027			385	15,2		
12	6,30	6,38	6,00	1190,0	1191,9	692,5	499,4	2,383	2,385	2,445	2,44	16,71	85,42	112	2763,0	2754,8	1,013	1,021	2812,608	407	16,0	15,49
13	6,25	6,95	6,50	1179,3	1180,7	685,5	495,2	2,381					105	2590,3		1,027			530	20,9		
14	6,24	6,95	6,50	1184,3	1185,8	687,5	498,3	2,377					106	2615,0		1,029			515	20,3		
15	6,26	6,95	6,50	1180,5	1181,5	684,2	497,3	2,374	2,377	2,426	2,02	17,43	88,39	108	2664,3	2623,2	1,024	1,027	2694,013	518	20,4	20,51

Fuente: Propia

Figura N° 4.16 GRAFICOS DE ENSAYOS MARSHALL // CEMENTO ASFALTICO



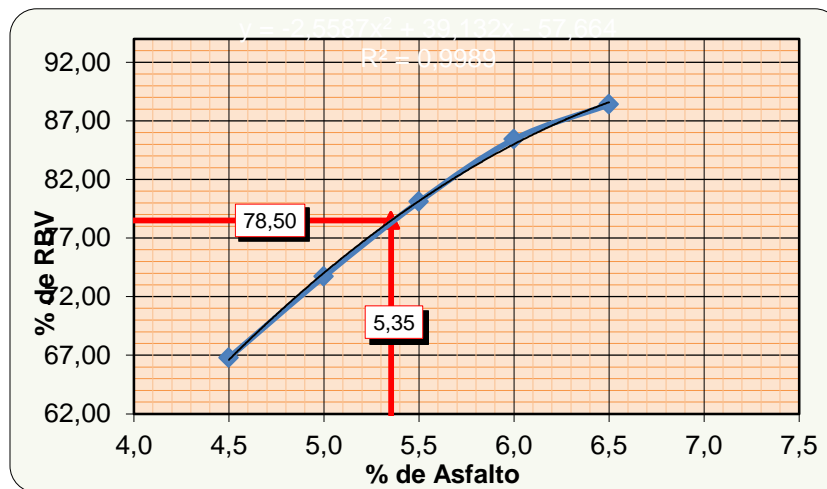


Tabla 4.30 Características obtenidas de los gráficos Marshall

CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES	
DENSIDAD	5,87	2,386	-----	-----
% VACIOS	5,09	4,0	3	5
R.B.V.	5,35	78,5	75	82
ESTABILIDAD (Lb)	5,52	2900,0	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,55	13,0	8	18
PROMEDIO (%)	5,5			

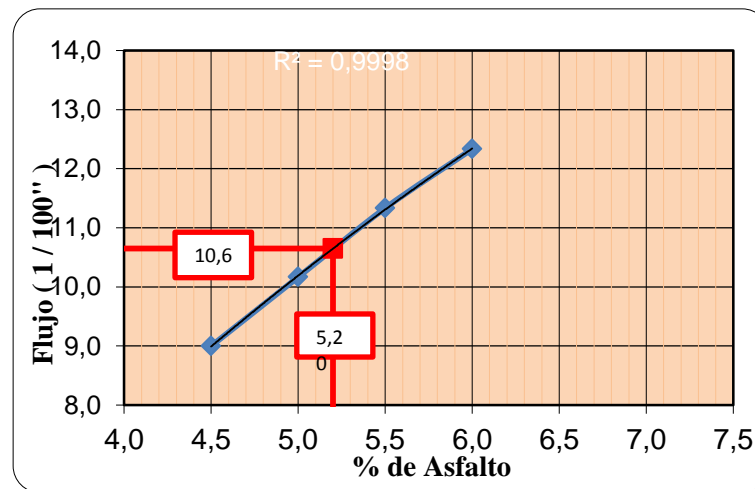
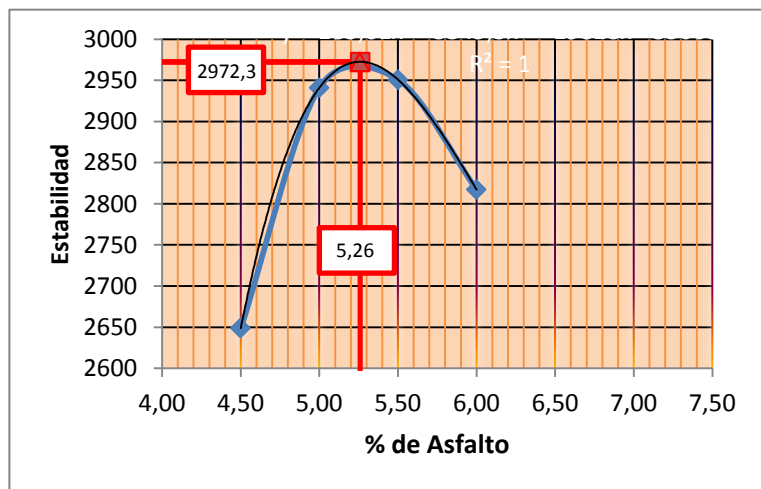
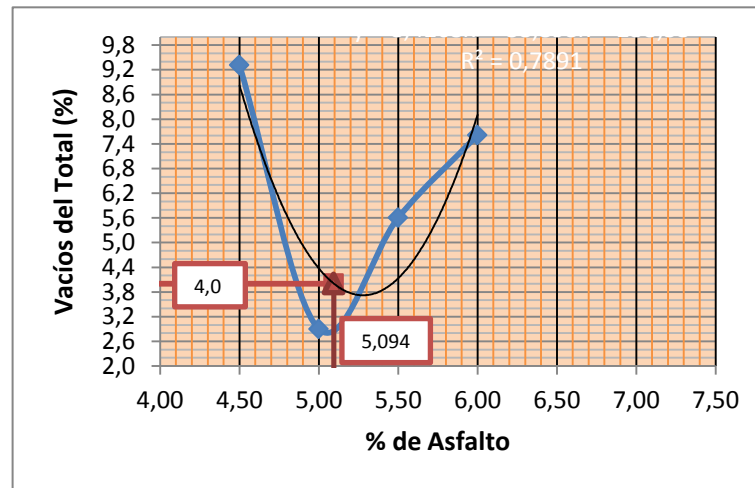
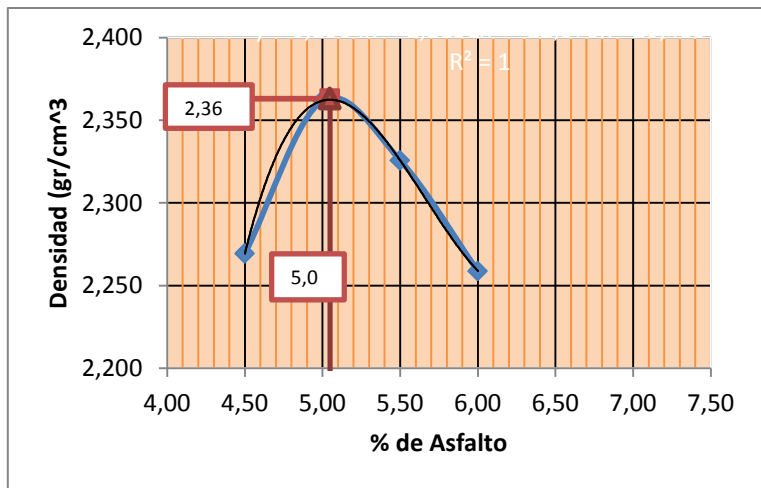
Fuente: Propia

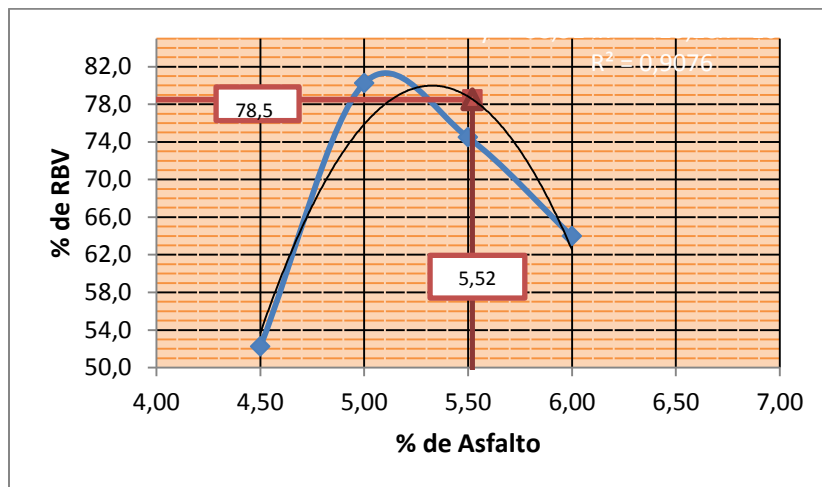
Tabla 4.31 "DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE / METODO MARSHALL " CON 5% DE POLIMERO

PROYECTO:																						
MEJORAMIENTO ASFALTADO PADCAYA - CHAGUAYA													DOSIFICACION Nº1			GRAVA	INTERMEDIA	ARENA				
Pesos específicos (AASHTO T-100,T-85)			% de agregados			C.Asfaltico AASHTO M-20									1"	12"	Nº4					
Mat. retenido Tamiz Nº4			2,682	gr/cm3	59,500	Tipo de asfalto AASHTO M-20			85-100	% DE AGREGADOS :			40%			17%			43%			
Mat. Pasa Tamiz Nº4			2,706	gr/cm4	40,5	P. Especifico Total AASHTO T-228			1,003	ORIGEN AGREGADOS :			CHANCADORA TACUARA									
P. Esp. Agregado Total (Gag):			2,692	gr/cm5	100	Grado Penetración Asfalto:			85 - 100	BETUPEN S												
IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					FLUJO 1/100	MEDIA		
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (D _r)	PROMEDIO (D _{omj})	MAXIMA TEORICA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO	LEC. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.			CORREGIDA	
		a	b	(gr)	(gr)	(gr)	(cm3)	(kg/cm3)	(kg/cm3)	(kg/cm3)	(Vv)	(VAM)	(RBV)		l	m	n		o		p	
		(a + 100) / 100 - a		D		d	e	f	g	h	i	j	k									
1	6,26	5,82	4,50	1397,0	1398,0	775,0	623,00	2,242						105	2599,2		1,024			9,0		
2	6,28	4,71	4,50	1401,0	1401,0	783,0	618,0	2,267						105	2583,6		1,019			9,0		
3	6,30	4,71	4,50	1399,0	1399,0	789,0	610,0	2,293	2,268	2,502	9,38	19,56	52,02	106	2615,0	2599,3	1,013	1,019	2648,644	9,0	9,00	
4	6,26	5,26	5,00	1292,0	1292,0	745,0	547,0	2,362						117	2886,3		1,024			10,0		
5	6,25	5,26	5,00	1400,0	1400,0	802,0	598,0	2,341						117	2886,3		1,027			10,0		
6	6,30	5,26	5,00	1377,0	1377,0	799,0	578,0	2,382	2,362	2,483	2,90	14,67	80,24	116	2868,8	2880,5	1,013	1,021	2940,980	10,5	10,17	
7	6,25	5,82	5,50	1284,0	1285,0	722,0	563,0	2,281						116	2861,7		1,027			11,0		
8	6,24	5,82	5,50	1237,0	1237,0	712,0	525,0	2,356						116	2871,5		1,029			11,0		
9	6,26	5,82	5,50	1326,0	1325,0	757,0	568,0	2,335	2,324	2,464	5,68	18,43	74,47	117	2886,3	2873,2	1,024	1,027	2950,747	12,0	11,33	
10	6,26	5,82	6,00	1302,0	1302,0	725,0	577,0	2,256						111	2744,2		1,024			12,0		
11	6,28	6,38	6,00	1287,0	1287,0	713,0	574,0	2,242						113	2776,1		1,019			13,0		
12	6,30	6,38	6,00	1286,0	1287,0	721,0	566,0	2,272	2,257	2,445	7,69	21,19	63,71	112	2773,6	2764,6	1,013	1,019	2817,154	12,0	12,33	

Fuente : Propia

Figura N° 4.17 GRAFICOS DE ENSAYOS MARSHALL // CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO 5% POLIMERO





Fuente: Propia

Tabla 4.32 Características obtenidas de los gráficos Marshall

CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5,05	2,363	-----	-----
% VACIOS	5,09	4,0	3	5
R.B.V.	5,52	78,5	75	82
ESTABILIDAD (Lb)	5,26	2972,3	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,20	11	8	18
PROMEDIO (%)	5,2			

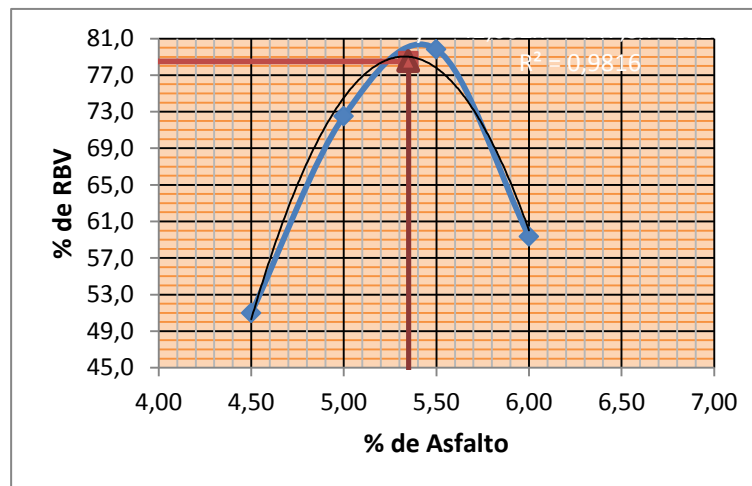
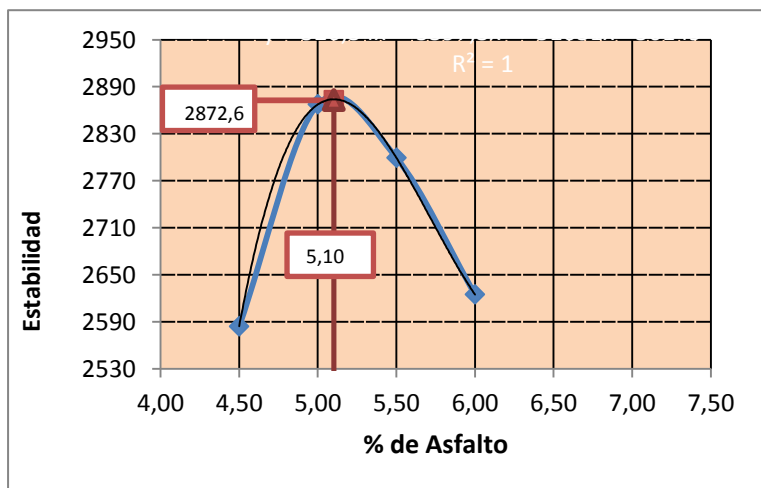
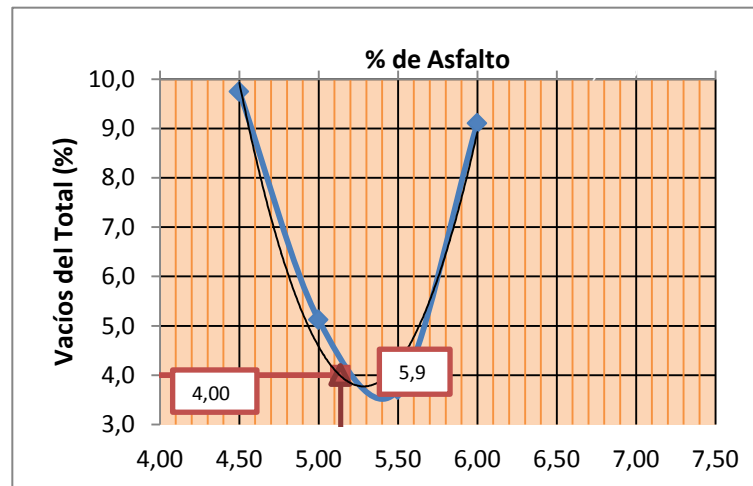
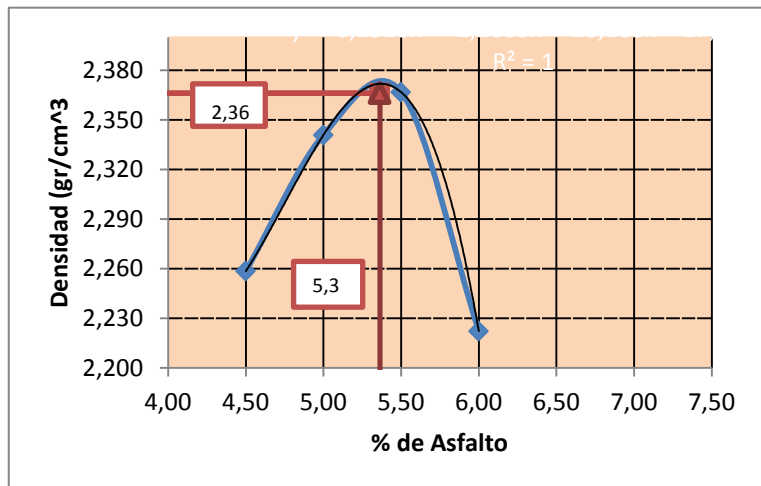
Fuente: Propia

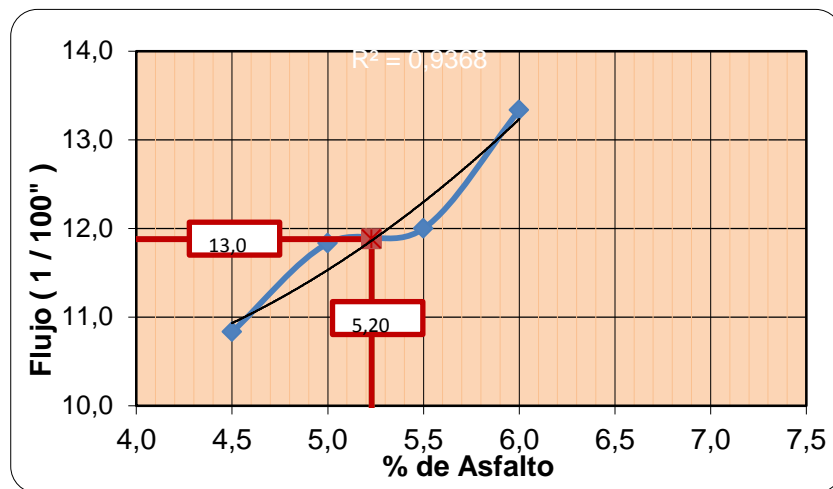
Tabla 4.33 "DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE / METODO MARSHALL " CON 10% DE POLIMERO

PROYECTO:																										
MEJORAMIENTO ASFALTADO PADCAYA - CHAGUAYA													DOSIFICACION M			GRAVA	INTERMEDIA	ARENA								
Pesos especificos (AASHTO T-100, T-85)			% de agregados			C. Asfáltico AASHTO M-20							1"			1/2"	Nº4									
Mat. retenido Tamiz Nº4			2,632 gr/cm ³	59,500			Tipo de asfalto AASHTO M-20			85-100			% DE AGREGADOS :			40%			17%			43%				
Mat. Pasa Tamiz Nº4			2,633 gr/cm ⁴	40,5			P. Especifico Total AASHTO T-228			1,003			ORIGEN AGREGADOS :							CHANCADORA TACUARA						
P. Esp. Agregado Total (Gg):			2,692 gr/cm ⁵			100																				
Grado Penetración Asfalto:													85 - 100 BETUPEN S													
IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)						FLUJO 1/100	MEDIA					
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (D.r)	PROMEDIO (D.m)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO	LEC. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.	CORREGIDA							
		a	b					(gr)	(gr)	(gr)	(cm ³)	(kg/cm ³)	(kg/cm ³)	(kg/cm ³)	(Vv)	(VAM)	(REV)	mm								
		(a + b) / 100 - a						D		d	e	f	g	h	i	j	k		l			m	n	o	p	
				D		c-d	c/e	1	2	3	4															
7	6,26	5,82	4,50	1104,0	1105,0	615,0	490,00	2,253					102	2526,3		1,024			11,0							
8	6,28	4,71	4,50	1098,0	1099,0	607,0	492,0	2,232					103	2541,0		1,019			10,5							
9	6,30	4,71	4,50	1069,0	1069,0	601,0	468,0	2,284	2,256	2,502	9,83	19,96	50,73	103	2541,0	2536,1	1,013	1,019	2584,248	11,0	10,83					
10	6,26	5,26	5,00	1110,0	1110,0	637,0	473,0	2,347					113	2798,0		1,024			12,0							
11	6,25	5,26	5,00	1026,0	1026,0	589,0	437,0	2,348					114	2814,8		1,027			12,0							
12	6,30	5,26	5,00	1043,0	1043,0	595,0	448,0	2,328	2,341	2,483	5,12	16,79	72,50	114	2812,3	2808,4	1,013	1,021	2867,349	11,5	11,83					
13	6,25	5,82	5,50	1147,0	1147,0	660,0	487,0	2,355					111	2738,3		1,027			12,0							
14	6,24	5,82	5,50	1225,0	1225,0	703,0	522,0	2,347					110	2725,2		1,029			13,0							
15	6,26	5,82	5,50	1120,0	1121,0	653,0	468,0	2,393	2,365	2,464	3,70	16,67	79,82	110	2713,6	2725,7	1,024	1,027	2799,325	11,0	12,00					
7	6,26	5,82	6,00	1210,0	1210,0	663,0	547,0	2,212					104	2565,6		1,024			13,0							
8	6,28	6,38	6,00	1190,0	1191,0	655,0	536,0	2,220					104	2572,0		1,019			14,0							
9	6,30	6,38	6,00	1199,0	1199,0	661,0	538,0	2,229	2,220	2,445	9,19	22,47	59,10	105	2590,3	2576,0	1,013	1,019	2624,930	13,0	13,33					

Fuente: Propia

Figura N° 4.18 GRAFICOS DE ENSAYOS MARSHALL // CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO 10% POLIMERO





Fuente: Propia

Tabla 4.34 Características obtenidas de los gráficos Marshall

CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5,36	2,366	-----	-----
% VACIOS	5,14	4,0	3	5
R.B.V.	5,35	78,5	75	82
ESTABILIDAD (Lb)	5,10	2872,7	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,00	13,0	8	18
PROMEDIO (%)	5,19			

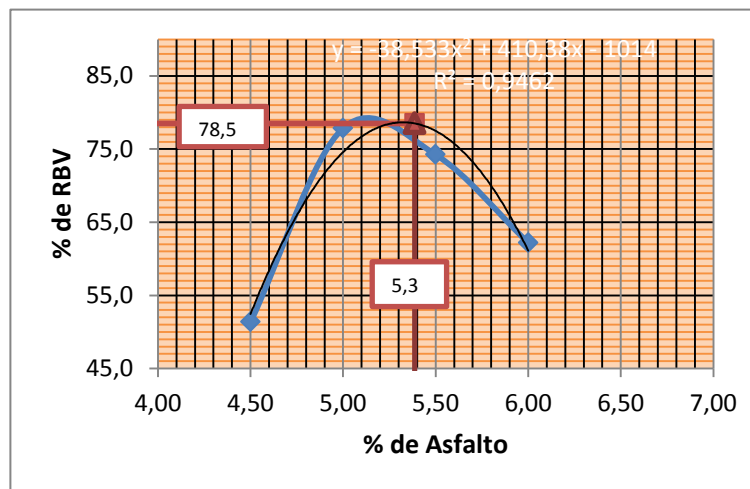
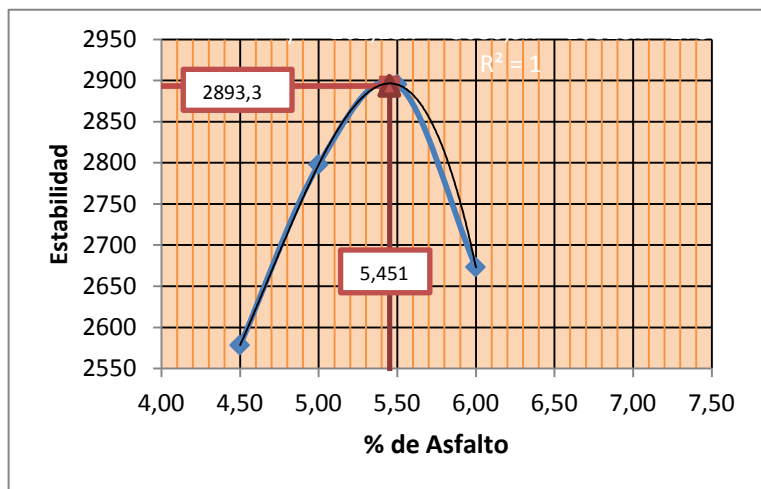
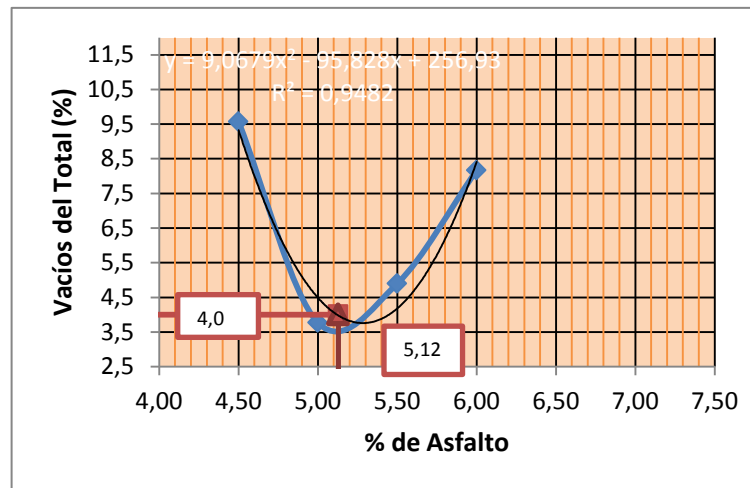
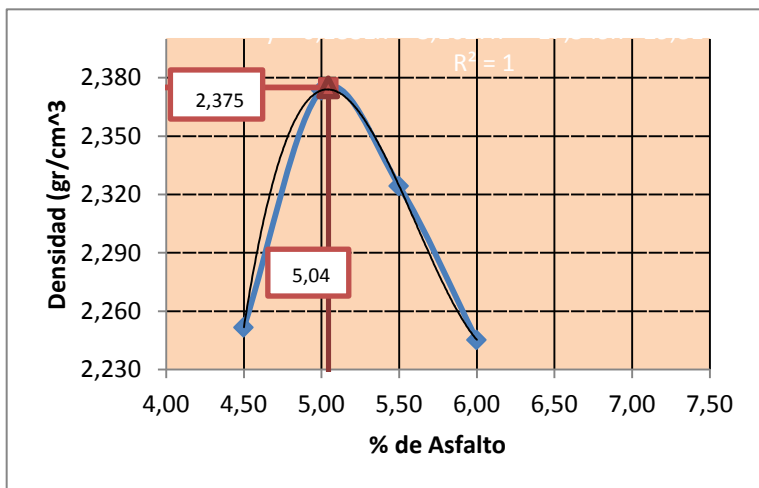
Fuente: Propia

Tabla 4.35 "DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE / METODO MARSHALL " CON 15% DE POLIMERO

PROYECTO:																																
MEJORAMIENTO ASFALTADO PADCAYA - CHAGUAYA										DOSIFICACION N°1			GRAVA	INTERMEDIA	ARENA																	
Pesos especificos (AASHTO T-100,T-85)			% de agregados			C. Asfáltico AASHTO M-20							1"	1/2"	N°4																	
Mat. retenido Tamiz N°4			2,632 gr/cm ³	59,500		Tipo de asfalto AASHTO M-20 85-100				% DE AGREGADOS :			40%	17%	43%																	
Mat. Pasa Tamiz N°4			2,633 gr/cm ⁴	40,5		P. Especifico Total AASHTO T-228 1,003																										
P. Esp. Agregado Total (Gg):			2,692 gr/cm ⁵			100				ORIGEN AGREGADOS :			CHANCADORA TACUARA																			
Grado Penetración Asfalto:										85 - 100 BETUPEN S																						
IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO			PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					FLUJO 1/100	MEDIA											
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA	(gr)					(gr)	(gr)	(cm ³)	REAL	PROMEDIO	MAXIMA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO	LEC. DIAL	REAL			MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA Tc.	CORREGIDA							
												(Dr.)	(Dm)	(kg/cm ³)												(kg/cm ³)	(kg/cm ³)	(Vv)	(YAM)	(REV)	mm	o
												f	g	h												i	j	k	l	m	n	p
				D		d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p														
1	6,26	5,82	4,50	1250,0	1251,0	695,0	556,00	2,248						102	2526,2		1,024		12,0													
2	6,28	4,71	4,50	1254,0	1255,0	695,0	560,0	2,239						102	2523,7		1,019		13,0													
3	6,30	4,71	4,50	1250,0	1252,0	695,0	557,0	2,244	2,244	2,502	9,57	19,64	51,27	103	2541,0	2530,3	1,013	1,019	2578,341	12,0	12,33											
4	6,26	5,26	5,00	1201,0	1201,0	700,0	501,0	2,397						110	2725,7		1,024		13,0													
5	6,25	5,26	5,00	1213,0	1214,0	699,0	515,0	2,355						111	2747,7		1,027		12,0													
6	6,30	5,26	5,00	1210,0	1210,0	699,0	511,0	2,368	2,373	2,483	3,77	15,60	77,84	111	2747,7	2740,4	1,013	1,021	2797,915	14,0	13,00											
7	6,25	5,82	5,50	1216,0	1216,0	691,0	525,0	2,316						115	2832,1		1,027		15,0													
8	6,24	5,82	5,50	1231,0	1231,0	699,0	532,0	2,314						114	2812,3		1,029		14,0													
9	6,26	5,82	5,50	1222,0	1223,0	700,0	523,0	2,337	2,322	2,464	4,90	17,63	74,23	114	2812,3	2818,9	1,024	1,027	2895,009	16,0	15,00											
10	6,26	5,82	6,00	1255,0	1256,0	694,0	562,0	2,233						107	2639,6		1,024		16,0													
11	6,28	6,38	6,00	1238,0	1239,0	684,0	555,0	2,231						106	2615,0		1,019		16,0													
12	6,30	6,38	6,00	1240,0	1241,0	691,0	550,0	2,255	2,239	2,445	8,41	21,80	61,44	106	2615,0	2623,2	1,013	1,019	2673,028	17,0	16,33											

Fuente: Propia

Figura N° 4.19 GRAFICOS DE ENSAYOS MARSHALL // CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO 15% POLIMERO



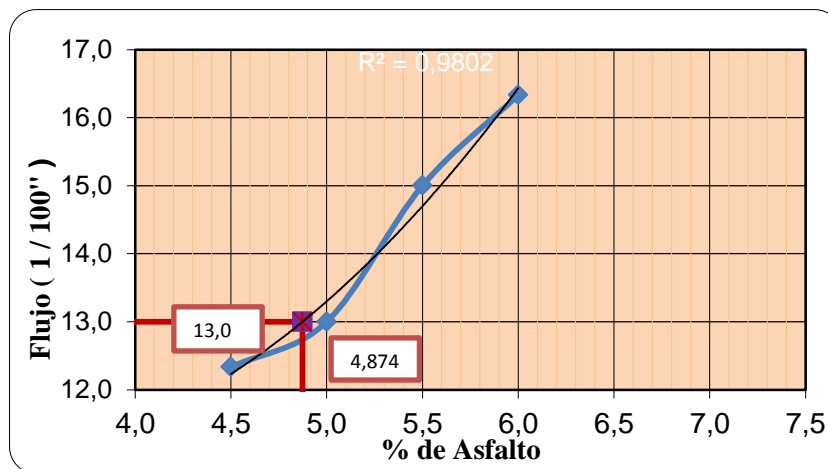


Tabla N° 4.36 Características obtenidas de los gráficos Marshall

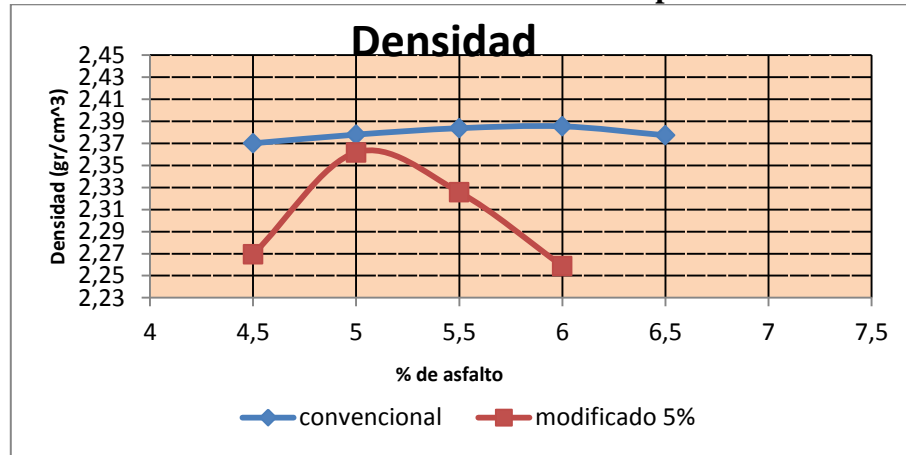
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5,04	2,375	-----	-----
% VACIOS	5,13	4,0	3	5
R.B.V.	5,39	78,5	75	82
ESTABILIDAD (Lb)	5,45	2893,3	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	4,87	13,0	8	18
PROMEDIO (%)	5,17			

Fuente: Propia

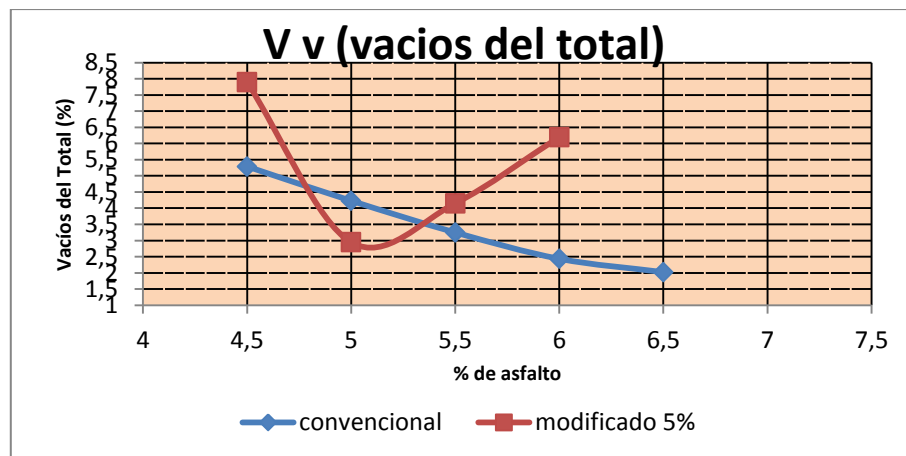
4.4.4 Análisis de resultados

Curvas relacionadas con los parámetros Marshall

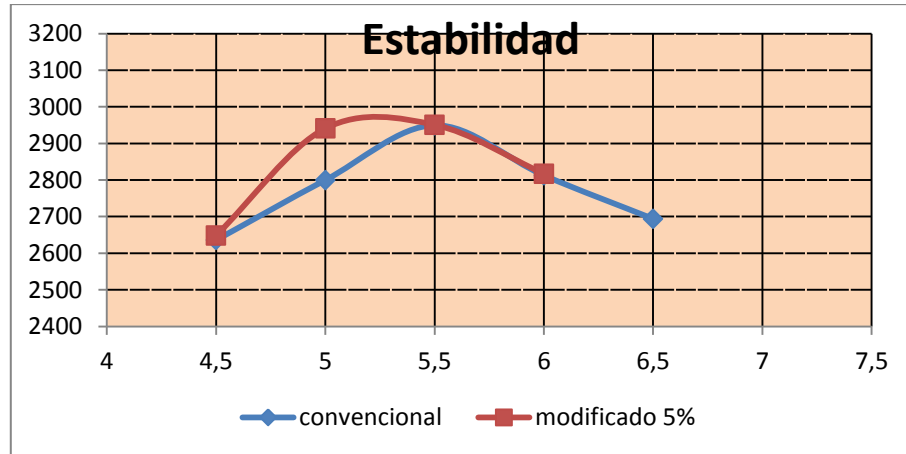
Asfalto convencional vs asfalto modificado con 5% de polímero.



La densidad crece con el incremento de asfalto, alcanza un pico, luego decrece. El asfalto modificado se comporta de la misma manera que un asfalto convencional encontrando un máximo de 2,363 gr/cm³ en su densidad y un porcentaje de asfalto óptimo de 5,2%.



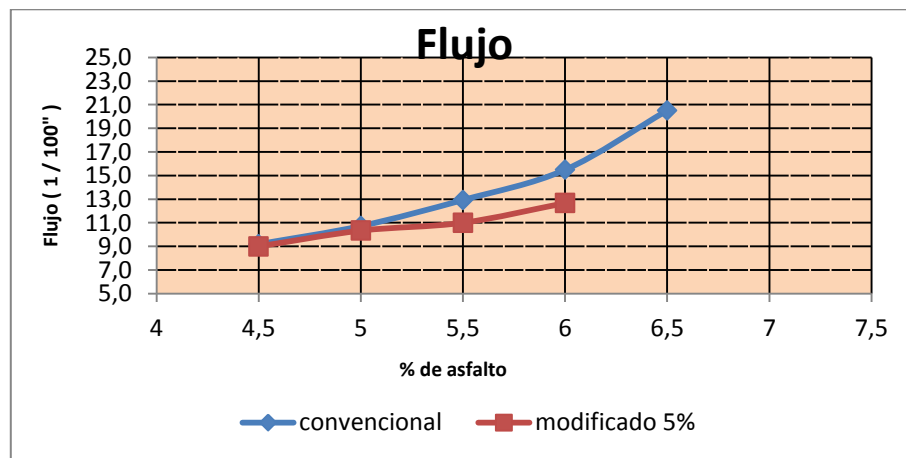
Con respecto al porcentaje de vacios comparando el asfalto convencional con el modificado podemos establecer que para el porcentaje de vacios de diseño del 4 % el convencional tiene un 5,5% de porcentaje optimo de asfalto, mientras que en el modificado para el 4% se tiene un 5,2% de contenido de asfalto optimo.



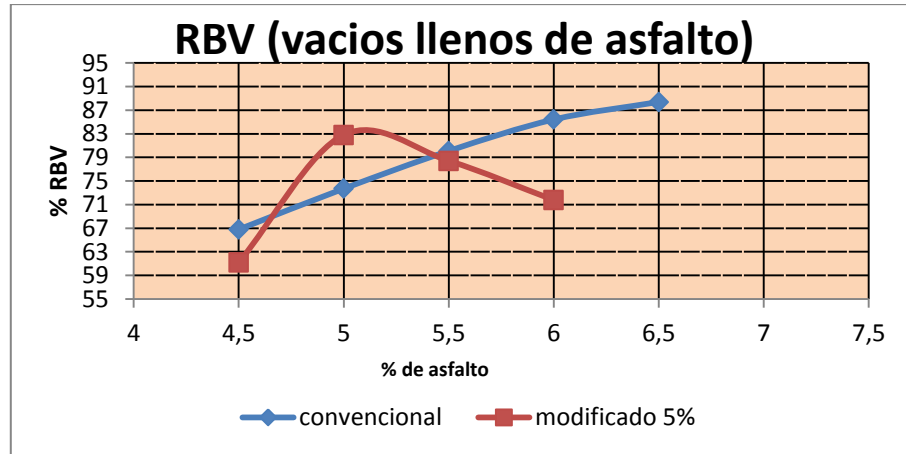
La estabilidad del asfalto convencional crece a medida que el contenido de asfalto aumenta, alcanza un pico y luego decrece.

Para el asfalto modificado se tiene un valor de estabilidad máxima de 2972,30 lb y un porcentaje óptimo de asfalto de 5,2%.

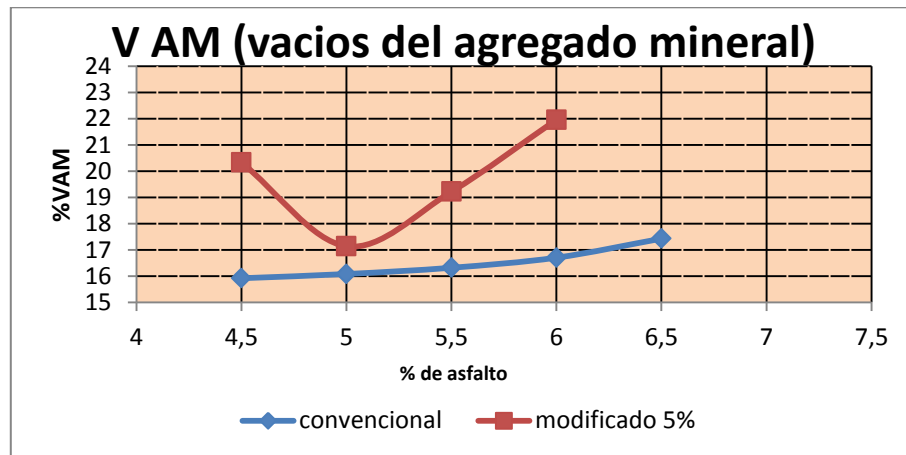
En ambos casos se cumple con los criterios para mezcla del método Marshall del Asphalt Institute.



Con el asfalto convencional, el flujo crece con el incremento de asfalto, con el asfalto modificado se tiene la misma tendencia pero los valores de flujo o deformación son menores variando entre 13 y 11 entre el convencional y modificado.

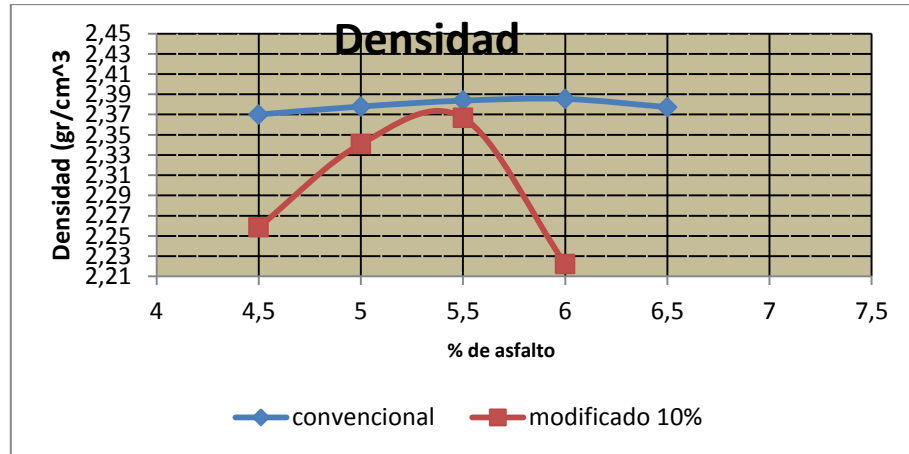


Se establece por los resultados que el asfalto modificado genera un incremento de RBV en general. Específicamente para un 75% de RBV el porcentaje de cemento asfáltico convencional fue de 5,5%, menor en comparación con el 83% para un 5,2% óptimo del modificado.

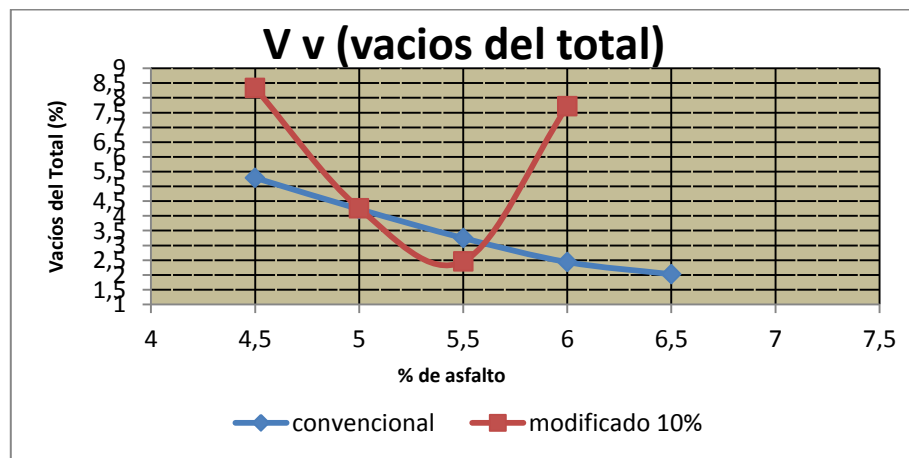


El porcentaje de vacíos en el agregado mineral, decrece con el incremento del crecimiento del contenido de cemento asfáltico, alcanza un mínimo y luego crece

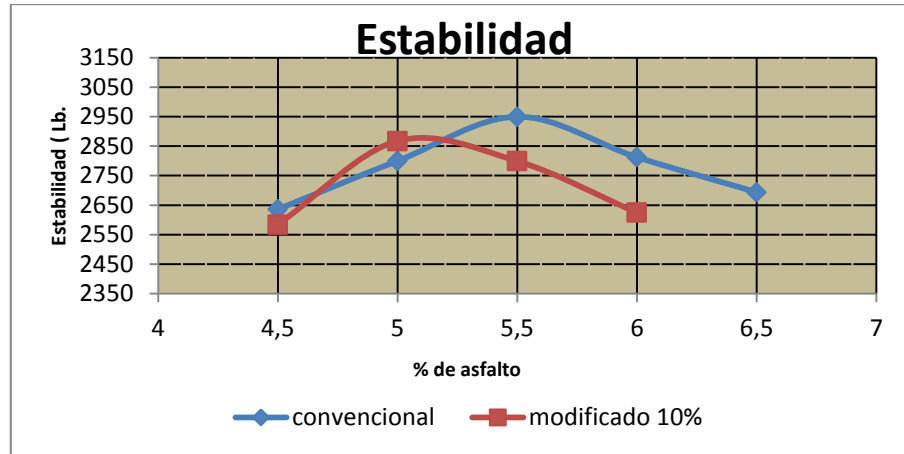
Asfalto convencional vs asfalto modificado con 10% de polímero.



La densidad crece con el incremento de asfalto, alcanza un pico, luego decrece. El asfalto modificado, se comporta de la misma manera que un asfalto convencional encontrando un máximo de 2,37 gr/cm³ en su densidad y un porcentaje de asfalto óptimo de 5,19%.



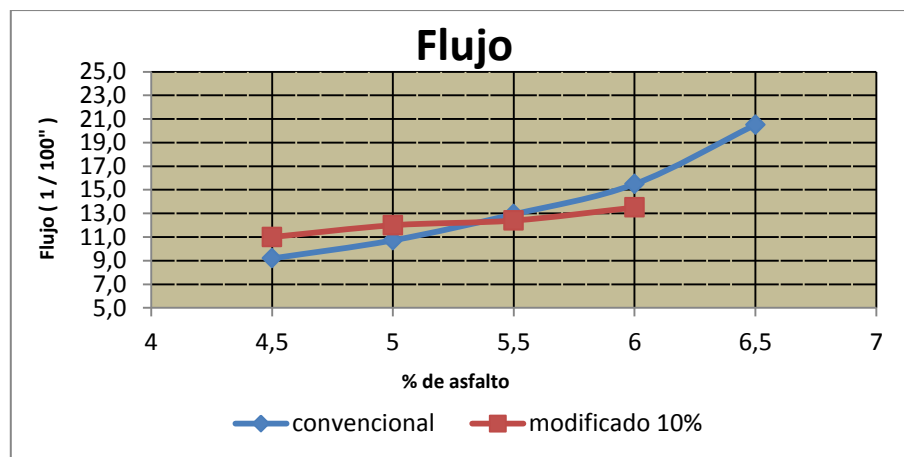
Con el comportamiento del porcentaje de vacios comparando los asfaltos convencional y el modificado, podemos establecer que para el porcentaje de vacios de diseño del 4 % el convencional tiene un 5,5% de porcentaje optimo de asfalto, mientras que en el modificado para el 4% se tiene un 5,19% de contenido optimo de asfalto.



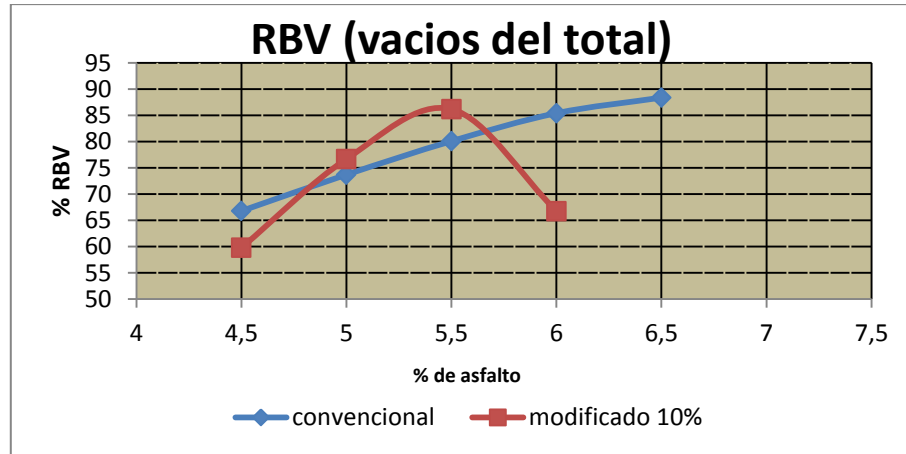
La estabilidad del asfalto modificado sigue la misma tendencia a la de la convencional crece a medida que el contenido de asfalto aumenta, alcanza un pico y luego decrece.

Para el asfalto modificado se tiene un valor de estabilidad máxima de 2872,7 lb y un porcentaje optimo de asfalto de 5,19%.

En ambos casos se cumple con los criterios para mezcla del método Marshall del Asphalt Institute.

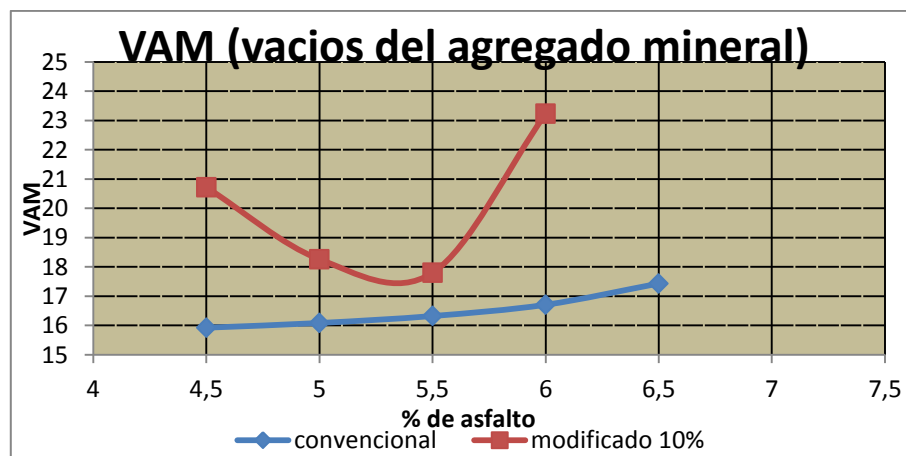


Con el asfalto convencional, el flujo crece con el incremento de asfalto, con el asfalto modificado se tiene la misma tendencia pero los valores de flujo o deformación van subiendo variando entre 13 y 12 entre el convencional y modificado.



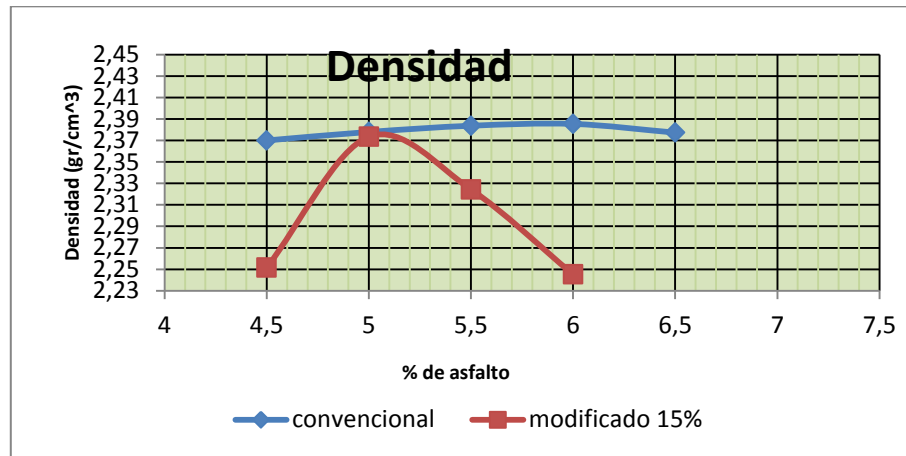
Se establece por los resultados que el asfalto modificado genera un incremento de RBV en general. Específicamente para un 75% de RBV el porcentaje de cemento asfáltico convencional fue de 5,5%, menor en comparación con el 85% para un 5,19% óptimo del modificado.

Se debe asegurar que el RBV (porcentaje de asfalto efectivo) no sea demasiado pequeño como para producir una mezcla poco durable, en este caso los porcentajes de RBV cumplen con las especificaciones.

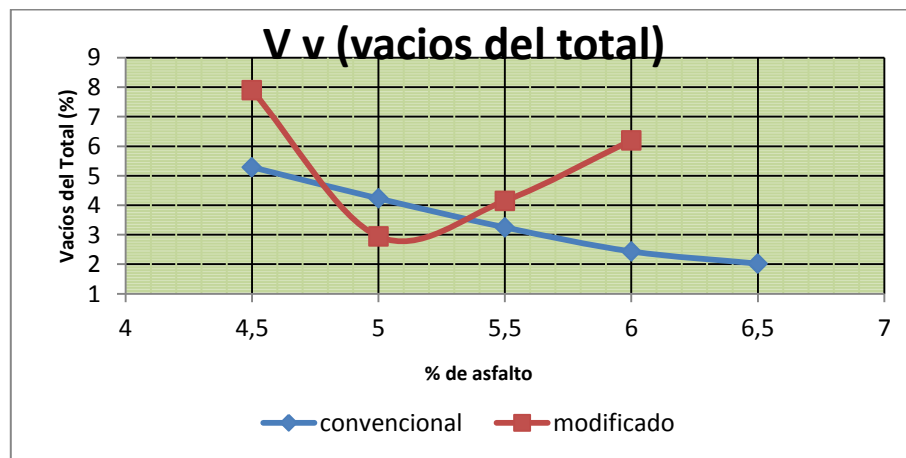


El porcentaje de vacíos en el agregado mineral, decrece con el incremento del crecimiento del contenido de cemento asfáltico, alcanza un mínimo y luego crece

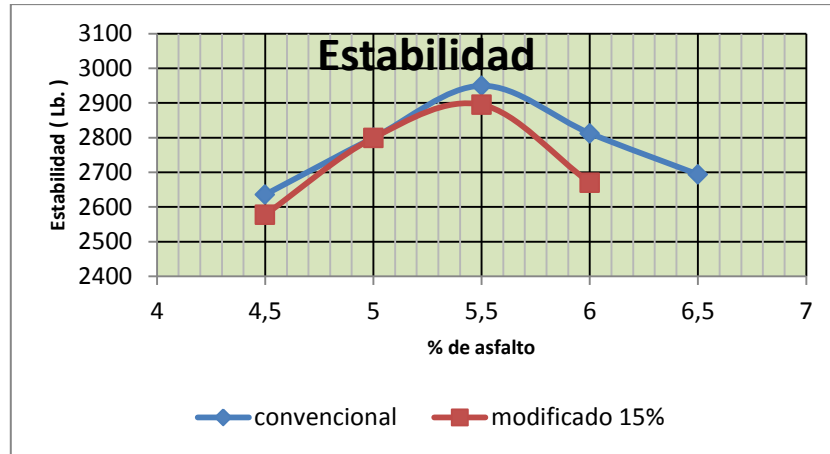
Asfalto convencional vs asfalto modificado con 15% de polímero.



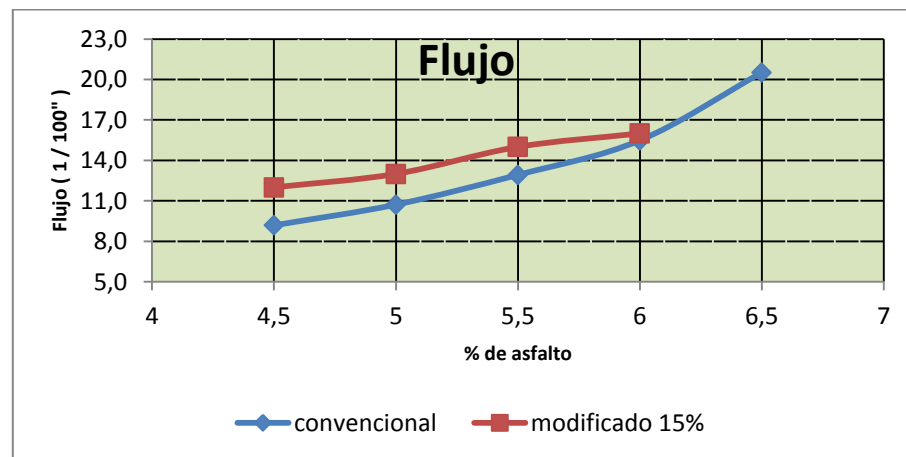
La densidad crece con el incremento de asfalto, alcanza un pico, luego decrece. El asfalto modificado, se comporta de la misma manera que un asfalto convencional encontrando un máximo de 2,38 gr/cm³ en su densidad y un porcentaje de asfalto óptimo de 5,21%.



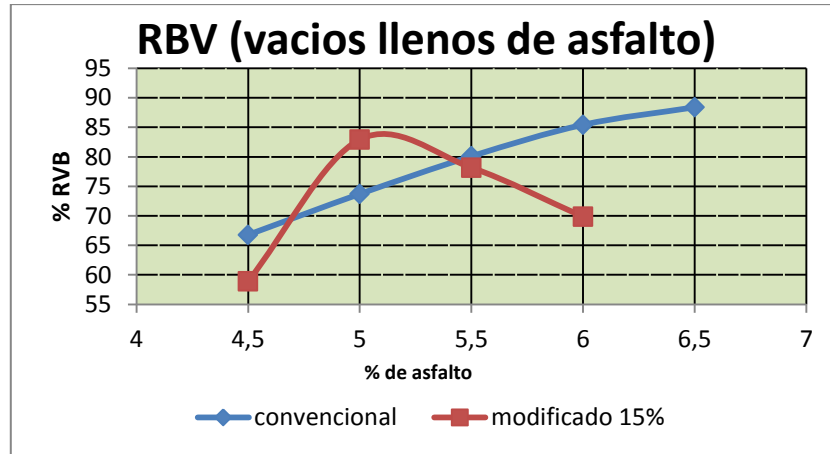
Con respecto al porcentaje de vacios comparando el asfalto convencional con el modificado podemos establecer que para el porcentaje de vacios de diseño del 4 % el convencional tiene un 5,5% de porcentaje optimo de asfalto, mientras que en el modificado para el 4% se tiene un 5,2% de contenido de asfalto optimo.



La estabilidad crece a medida que el contenido de asfalto aumenta, alcanza un pico y luego decrece, la estabilidad debe ser lo suficientemente alta para acomodarse adecuadamente al tránsito esperado, pero no tan alta como para que el pavimento sea demasiado rígido. Con el asfalto modificado se tiene una estabilidad de 2893,3lb para un porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 5,2%.

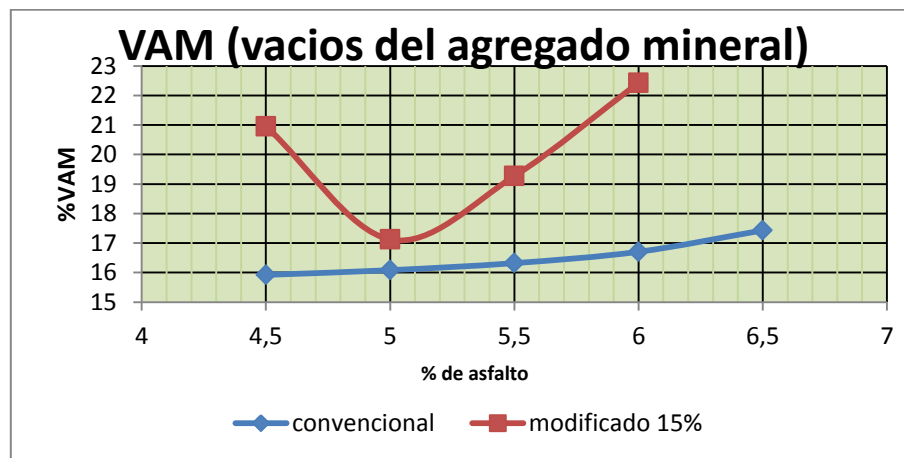


Con el asfalto convencional, el flujo crece con el incremento de asfalto, con el asfalto modificado se tiene la misma tendencia pero los valores de flujo o deformación son de 13% para el cemento asfáltico convencional y modificado, obteniendo un valor de 5,5% y 5,2% respectivamente de porcentaje de asfalto óptimo.



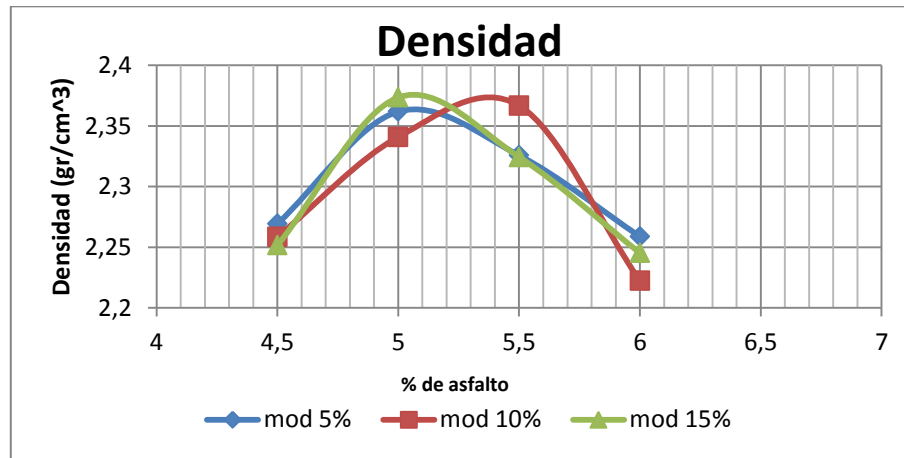
El porcentaje de vacíos llenos con asfalto (RBV), es mayor al del asfalto convencional, cumple con las especificaciones, el RBV depende del nivel de tránsito.

Se establece por los resultados que el asfalto modificado genera un incremento de RBV en general. Específicamente para un 75% de RBV el porcentaje de cemento asfáltico convencional fue de 5,5%, menor en comparación con el 84% para un 5,20% óptimo del modificado.

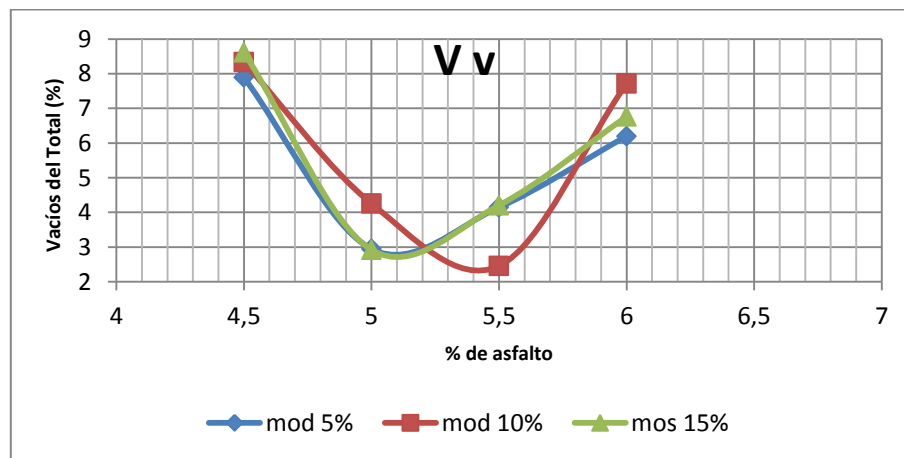


El porcentaje de vacíos en el agregado mineral, decrece con el incremento del crecimiento del contenido de cemento asfáltico, alcanza un mínimo y luego crece

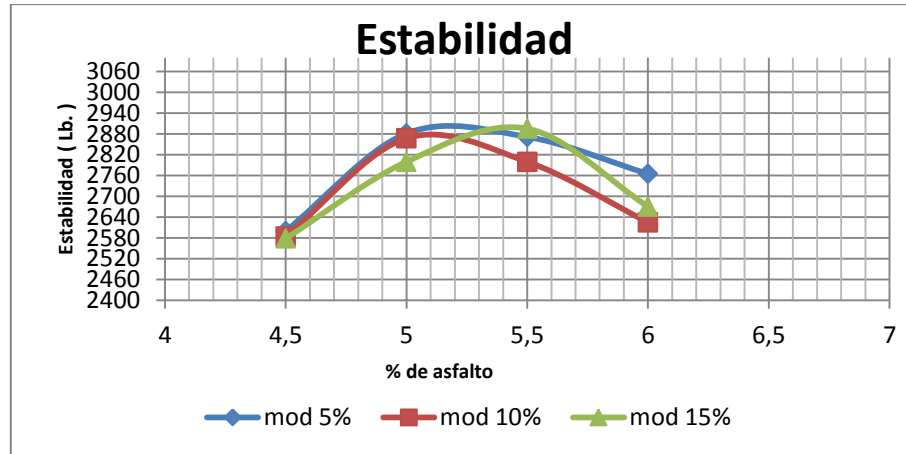
Asfalto modificado con 5%, 10%, 15% de polímero.



La densidad tiende a subir con los porcentajes de polímero que se aumentaron al cemento asfáltico, las densidades son de 2,362 gr/cm³, 2,366gr/cm³, 2,38gr/cm³ para un porcentaje óptimo de asfalto de 5,22%, 5,19%, 5,18% respectivamente estas cumplen con los criterios para mezcla del método Marshall del Asphalt Institute.

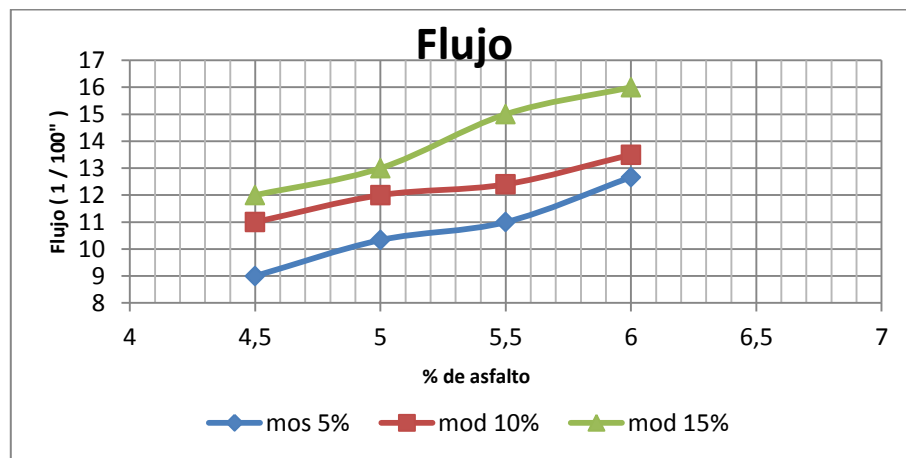


Con respecto al porcentaje de vacíos del asfalto modificado con 5, 10, 15% de polímero podemos establecer que este va disminuyendo con valores de 5,094, 5,14, 5,13% respectivamente para el contenido de vacíos especificado de 4%.

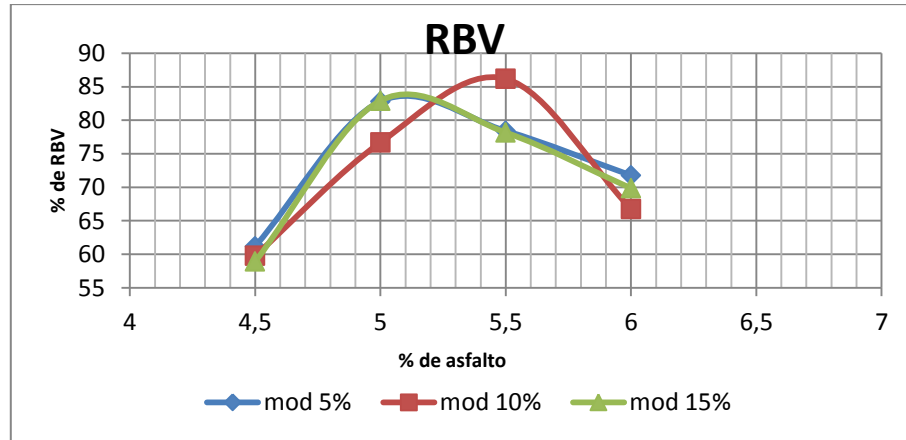


La incorporación de polímero para modificar el asfalto, provoca incrementos en la estabilidad y reducción de la deformación de la mezcla asfáltica en caliente.

La estabilidad para los diferentes asfaltos modificados cumple con la norma y es capaz de resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones y que depende principalmente de la fricción interna y de la cohesión.

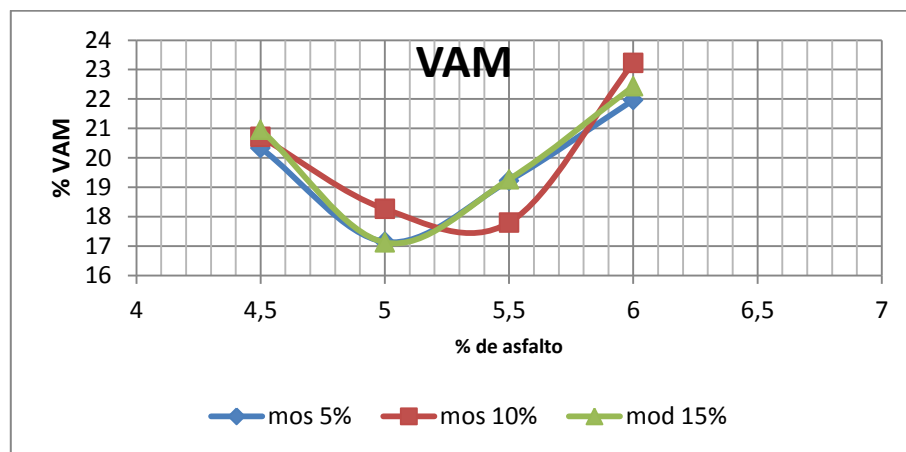


Para el caso del asfalto modificado con 5% de polímero se tiene un valor de flujo de 11% para este valor encontramos un porcentaje óptimo de asfalto de 5,22%, para los otros dos casos tenemos un valor de 13% y un 5,19% y 5,18% respectivamente de porcentaje de asfalto óptimo de asfalto.



En general se establece por los resultados que el asfalto modificado con polímero genera un incremento de RBV.

. El porcentaje de RBV (porcentaje de vacíos llenos de asfalto) es utilizado para asegurar que el porcentaje de asfalto efectivo no sea demasiado pequeño como para producir una mezcla poco durable, o demasiado alto como para obtener una mezcla demasiado inestable.



En general el porcentaje de vacíos de agregado mineral (VAM), tiene un comportamiento similar al del asfalto convencional.

A medida que se incrementa el contenido de asfalto en la mezcla esta se vuelve mas trabajable y se compacta mas fácilmente, es decir mayor masa, puede ser comprimida en menos volumen, por consiguiente, hasta cierto punto la densidad de la mezcla incrementa y el VAM disminuye.

Análisis estadístico de los datos

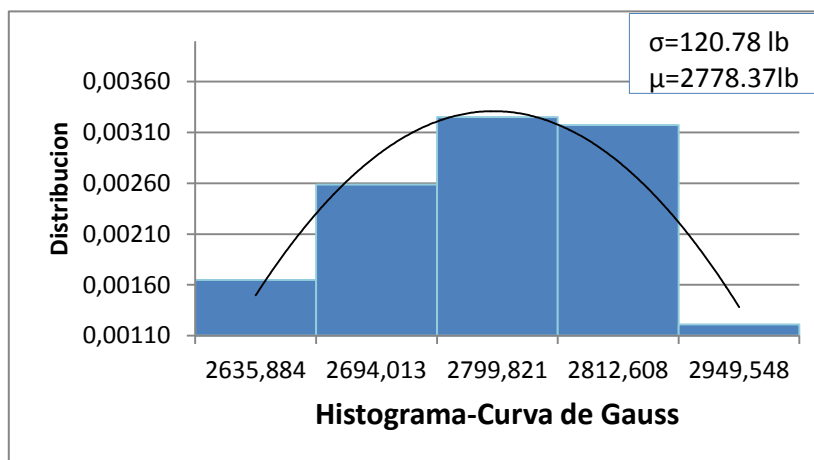
Tabla N° 4.37 Análisis estadístico del asfalto convencional

Asfalto convencional						
Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO	
2,37	2635,884	5,288	15,922	66,785	9,2	
2,38	2799,821	4,229	16,083	73,706	10,7	
2,38	2949,548	3,249	16,321	80,091	12,9	
2,39	2812,608	2,435	16,705	85,421	15,5	
2,38	2694,013	2,023	17,430	88,392	20,5	
Media	2,38	2778,37	3,45	16,49	78,88	13,77
Mediana	2,38	2799,82	3,25	16,32	80,09	12,93
Varianza	0,0000296	11.670,52	1,42	0,29	61,56	15,88
Desviación	0,006	120,781	1,331	0,601	8,772	4,456
Curtosis	0,213	-0,229	-1,219	0,694	- 1,216	0,264
Coef. de asimetría	-0,568	0,372	0,500	1,102	-0,472	0,881

Tabla N° 4.38 Distribución normal

Estabilidad	Datos ordenados	Distribución
2635,884	2635,884	0,00165
2799,821	2694,013	0,00259
2949,548	2799,821	0,00325
2812,608	2812,608	0,00317
2694,013	2949,548	0,00121

Figura N° 4.20 Histograma-Curva de Gauss (Asfalto convencional)



Fuente: Propia

$$p(\mu - \sigma < X \leq \mu + \sigma) = 2657,593 < X \leq 2899,156 = 68.26 \%$$

$$p(\mu - 2\sigma < X \leq \mu + 2\sigma) = 2657,593 < X \leq 2899,156 = 95.4 \%$$

$$p(\mu - 3\sigma < X \leq \mu + 3\sigma) = 2657,593 < X \leq 2899,156 = 99.7 \%$$

Tabla N° 4.39 Análisis estadístico del asfalto modificado con 5% de polímero

Asfalto con 5% de polímero						
	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
	2,269	2648,644	7,893	20,337	61,189	9,000
	2,362	2940,980	2,946	17,141	82,812	10,333
	2,326	2950,747	4,150	19,222	78,411	11,000
	2,259	2817,154	6,199	21,964	71,774	12,667
Media	2,304	2839,381	5,297	19,666	73,547	10,750
Mediana	2,298	2879,067	5,175	19,779	75,093	10,667
Varianza	0,002	14899,876	3,599	3,076	66,340	1,743
Desviación	0,048	140,949	2,191	2,025	9,405	1,524
Curtosis	-3,243	-0,121	-2,159	0,128	-0,182	0,638
Coef. de asimetría	0,417	-1,076	0,236	-0,300	-0,787	0,306

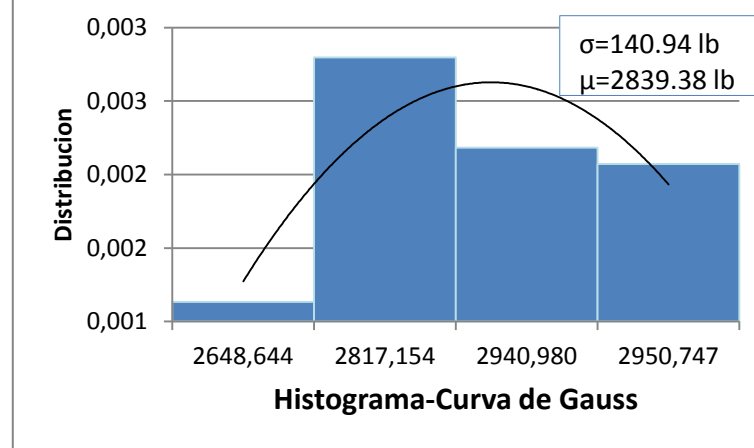
Fuente: Propia

Tabla N° 4.40 Distribución normal

Estabilidad	Datos ordenados	Distribución
2648,644	2648,644	0,001
2940,980	2817,154	0,003
2950,747	2940,980	0,002
2817,154	2950,747	0,002

Fuente: Propia

Figura N° 4.21 Histograma-Curva de Gauss (Asfalto 5% polímero)



Fuente: Propia

$$\begin{aligned}
 p(\mu - \sigma < X \leq \mu + \sigma) &= 2698,433 < X \leq 2980,330 &= 68.26 \% \\
 p(\mu - 2\sigma < X \leq \mu + 2\sigma) &= 2698,433 < X \leq 2980,330 &= 95.4 \% \\
 p(\mu - 3\sigma < X \leq \mu + 3\sigma) &= 2698,433 < X \leq 2980,330 &= 99.7 \%
 \end{aligned}$$

Tabla N° 4.41 Análisis estadístico del asfalto modificado con 10% de polímero

Asfalto con 10% de polímero						
	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
	2,259	2584,339	8,332	20,717	59,780	11,000
	2,341	2867,424	4,257	18,260	76,688	12,000
	2,367	2799,376	2,459	17,797	86,185	12,400
	2,222	2624,933	7,718	23,227	66,773	13,500
Media	2,297	2719,018	5,691	20,000	72,356	12,225
Mediana	2,300	2712,155	5,987	19,489	71,731	12,200
Varianza	0,003	13868,051	5,897	4,703	99,831	0,802
Desviación	0,068	135,981	2,804	2,504	11,537	1,034
Curtosis	-4,004	-4,393	-3,852	-1,508	-1,665	0,783
Coef. de asimetría	-0,116	0,136	-0,302	0,764	0,244	0,138

Fuente: Propia

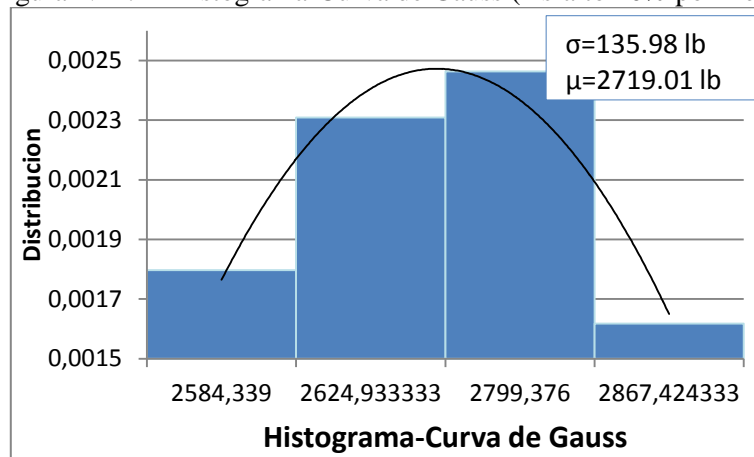
Tabla N° 4.42 Distribución normal

Estabilidad	Datos	Distribución
-------------	-------	--------------

	ordenados	
2584,339	2584,339	0,00179648
2867,42433	2624,93333	0,00230929
2799,376	2799,376	0,00246377
2624,93333	2867,42433	0,00161729

Fuente: Propia

Figura N° 4.22 Histograma-Curva de Gauss (Asfalto 10% polímero)



Fuente: Propia

$$\begin{aligned}
 p(\mu - \sigma < X \leq \mu + \sigma) &= 2583,038 < X \leq 2854,999 &= 68.26 \% \\
 p(\mu - 2\sigma < X \leq \mu + 2\sigma) &= 2583,038 < X \leq 2854,999 &= 95.4 \% \\
 p(\mu - 3\sigma < X \leq \mu + 3\sigma) &= 2583,038 < X \leq 2854,999 &= 99.7 \%
 \end{aligned}$$

Tabla N° 4.43 Análisis estadístico del asfalto modificado con 15% de polímero

Asfalto con 15% de polímero						
	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
	2,259	2584,339	8,332	20,717	59,780	11,000
	2,341	2867,424	4,257	18,260	76,688	12,000
	2,367	2799,376	2,459	17,797	86,185	12,400
	2,222	2624,933	7,718	23,227	66,773	13,500
Media	2,297	2719,018	5,691	20,000	72,356	12,225
Mediana	2,300	2712,155	5,987	19,489	71,731	12,200
Varianza	0,003	13868,051	5,897	4,703	99,831	0,802
Desviación	0,068	135,981	2,804	2,504	11,537	1,034
Curtosis	-4,004	-4,393	-3,852	-1,508	-1,665	0,783
Coef. de asimetría	-0,116	0,136	-0,302	0,764	0,244	0,138

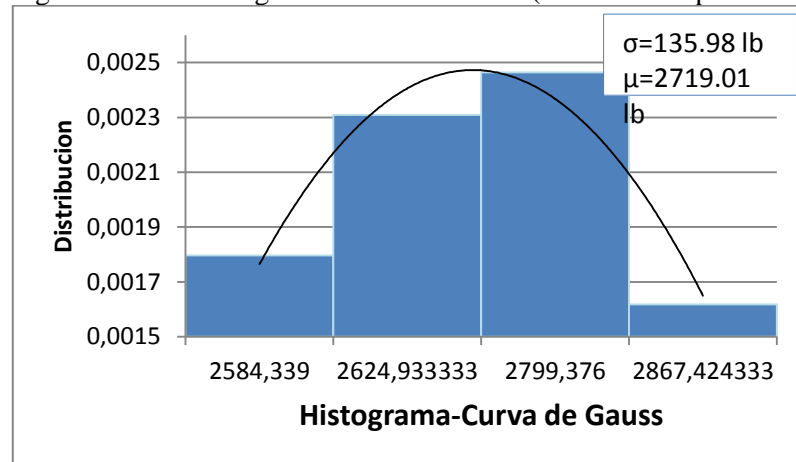
Fuente: Propia

Tabla N° 4.44 Distribución normal

Estabilidad	Datos	Distribución
-------------	-------	--------------

	ordenados	
2584,339	2584,339	0,00179648
2867,42433	2624,93333	0,00230929
2799,376	2799,376	0,00246377
2624,93333	2867,42433	0,00161729

Figura N° 4.23 Histograma-Curva de Gauss (Asfalto 15% polímero)



Fuente: Propia

$$\begin{aligned}
 p(\mu - \sigma < X \leq \mu + \sigma) &= 2583,038 < X \leq 2854,999 &= 68.26 \% \\
 p(\mu - 2\sigma < X \leq \mu + 2\sigma) &= 2583,038 < X \leq 2854,999 &= 95.4 \% \\
 p(\mu - 3\sigma < X \leq \mu + 3\sigma) &= 2583,038 < X \leq 2854,999 &= 99.7 \%
 \end{aligned}$$

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El contenido de vacíos de aire (Vv) es uno de los parámetros más importantes para el funcionamiento de una mezcla asfáltica. Existe el criterio que el rango adecuado de desempeño, se logra conseguir cuando los contenidos de vacíos están dentro del rango de 3 a 5 %. Los valores de vacíos de aire, que se han logrado obtener para la mezcla de diseño propuesta con asfalto convencional y modificado con polímero, están dentro del rango recomendado por el Manual de Especificaciones del Instituto del Asfalto; es decir, de 3 a 5 %.
- La estabilidad tiene la misma tendencia al asfalto convencional, este aumenta a medida que el porcentaje de polímero también lo hace, se logro una estabilidad de 2972,30lb para el asfalto con 5% de polímero, este aumento en comparación del asfalto convencional que tiene una estabilidad de 2950 lb.
- Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.
- Por los datos obtenidos se puede ver que el asfalto modificado genera un incremento de RBV (vacíos llenos de asfalto) en general, de un 75% a un 83% para el asfalto modificado con 5% de polímero.
- Los valores de penetración y punto de ablandamiento del asfalto modificado permiten predecir menor ahuellamiento a altas temperaturas de servicio en comparación con los convencionales.
- El asfalto modificado con polímeros termoestables mostró una reducción de la susceptibilidad a la deformación permanente, determinado a partir de la disminución progresiva de la penetración.
- Se pueden implementar los polímeros termoestables para la modificación de asfaltos, provenientes del reciclaje de aparatos electrónicos, pero en zonas de Temperaturas superiores a 25°C.

- El asfalto utilizado para la realización de este trabajo de investigación es el 85/100 de procedencia Brasil, según la caracterización realizada se puede concluir que este cumple con la normativa propuesta por AASHTO y ASTM.
- La resistencia que tiene el asfalto modificado a fluir es mayor con respecto al convencional, los valores de viscosidad del asfalto modificado permiten predecir menor ahuellamiento a altas temperaturas de servicio.
- La investigación mostró la disponibilidad de materias primas en el país, dada la generación actual de residuos y las proyecciones futuras de consumo y descarte de equipos electrónicos
- El porcentaje de polímero de residuos electrónicos para la mezcla en caliente es de 5%, con este porcentaje óptimo tenemos una estabilidad de 2972,30 lb y una densidad de 2,363gr/cm³.
- La mezcla asfáltica en caliente de la investigación quedó constituida por 40% de grava, 17% de material intermedio, 43% de arena triturada, 5,2% de asfalto y 5% de polímero de residuos electrónicos.
- Tras realizar los ensayos de las mezclas asfálticas en la prensa para Marshall se observó que el contenido óptimo de asfalto fue disminuyendo a medida que se incrementaba el porcentaje de polímero de residuos electrónicos, para el asfalto convencional se obtuvo un porcentaje óptimo de asfalto de 5,5%, mientras que para el asfalto con polímero con 5% 10%, y 15% se obtuvieron 5,22%, 5,19% y 5,18% respectivamente
- En la mezcla modificada se observó un crecimiento proporcional del flujo. Esto indica que la mezcla modificada es menos rígida, lo que en teoría la hace menos susceptible al agrietamiento cuando se encuentra en servicio en lugares de bajas temperaturas.
- El uso de mezclas modificadas no altera los procedimientos usados normalmente en los trabajos de pavimentación.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Proyecto de grado

Unidad: t

Moneda: Dólares Americanos

Descripción	Unidad	Cantidad	% Prod.	Precio Unitario		Precio Total	
				Improductivo	Productivo		
1.- MATERIALES E INSUMOS							
1.1.	Cemento asfáltico	t	0,0700		600,00	42,00	
1.2.	Áridos clasificados y/o triturados	m3	0,6700		6,81	4,56	
TOTAL MATERIALES E INSUMOS						46,56	
2.- MANO DE OBRA INCLUYE ALIMENTACION							
2.1.	Técnico	h	0,0500		2,85	0,14	
2.2.	Peón	h	0,1000		0,79	0,08	
2.3.	Operador Equipo Pesado	h	0,0250		2,49	0,06	
TOTAL MANO DE OBRA INCLUYE ALIMENTACION						0,28	
3.- MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS							
3.1.	Planta de concreto asfáltico	h	0,0250	100%	26,12	40,24	1,01
3.2.	Cargador frontal CAT 930	h	0,0250	100%	25,67	58,11	1,45
3.3.	Grupo electrógeno IVECO AIFO, 50 kVA	h	0,0250	100%	3,41	10,85	0,27
3.9.	Herramientas: % a la Mano de Obra Directa				5%	0,01	
TOTAL MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS						2,74	
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS							
4.1.	Gastos Generales: % al Costo Directo						
4.2.	Cargas Sociales: % a la Mano de Obra Directa						
4.3.	Mano de Obra Indirecta: % a la Mano de Obra Directa						
4.4.	Impuesto al Valor Agregado (IVA): % a la Mano de Obra						
4.5.	Utilidad: % al Costo Directo						
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS							
5.- IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES							
5.1.	Impuesto a las Transacciones: % al Sub Total General						
TOTAL PRECIO UNITARIO						49,59	

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Proyecto de grado
 Unidad: t
 Moneda: Dólares Americanos

Descripción	Unidad	Cantidad	% Prod.	Precio Unitario		Precio Total	
				Improductivo	Productivo		
1.- MATERIALES E INSUMOS							
1.1.	Cemento asfáltico 85/100	t	0,0700			600,00	42,00
1.2.	Áridos clasificados y/o triturados	m3	0,6700			6,81	4,56
1.3.	Polímero de residuos electrónicos	t	0,0369			90,00	3,32
TOTAL MATERIALES E INSUMOS							49,88
2.- MANO DE OBRA							
2.1.	Técnico	h	0,0500			2,85	0,14
2.2.	Peón	h	0,1000			0,79	0,08
2.3.	Operador Equipo Pesado	h	0,0250			2,49	0,06
TOTAL MANO DE OBRA (INCLUYE ALIMENTACIÓN)							0,28
3.- MAQUINARIA EQUIPO Y HERRAMIENTAS							
3.1.	Planta de concreto asfáltico	h	0,0250	100%	26,12	40,24	1,01
3.2.	Cargador frontal CAT 930	h	0,0250	100%	25,67	58,11	1,45
3.3.	Grupo electrógeno IVECO AIFO, 50 kVA	h	0,0250	100%	3,41	10,85	0,27
3.9.	Herramientas: % a la Mano de Obra Directa					5%	0,01
TOTAL MAQUINARIA EQUIPO Y HERRAMIENTAS							2,74
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS							
4.1.	Gastos generales % al costo directo						
4.2.	Cargas Sociales: % a la Mano de Obra Directa						
4.3.	Mano de Obra Indirecta: % a la Mano de Obra Directa						
4.4.	Impuesto al Valor Agregado (IVA): % a la Mano de Obra						
4.5.	Utilidad: % al Costo Directo						
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS							
5.-							
TOTAL PRECIO UNITARIO							52,91

TOTAL PRECIO	Mezcla asfáltica convencional	Mezcla asfáltica modificada
	49,59	52,91

UNITARIO

--	--

Se obtiene un porcentaje en la incidencia del costo de 6,69%

5.2 RECOMENDACIONES

- Para garantizar el recubrimiento de los agregados durante la fabricación de la mezcla asfáltica es necesario mantener controlada y supervisada la temperatura establecida, especialmente cuando se utiliza asfalto modificado.

- Se recomienda aplicar asfaltos modificados con polímeros, ya que, se pueden disminuir los espesores de la capa de rodadura, y al mismo tiempo disminuir costos en el mantenimiento preventivo.
- Llevar a cabo un estudio comparativo entre los beneficios obtenidos a largo plazo de la utilización de mezclas asfálticas modificadas y convencionales.
- Para la producción en planta los agregados deberán estar cubierto, esto para evitar que material fino se adhiera al agregado grueso cuando exista precipitaciones, lo que afecta la granulometría de la mezcla de agregados creando un exceso de finos.
- Los áridos a emplearse en la elaboración de la mezcla, no deben estar húmedos ni sucios
- Tener presente que los resultados que obtengamos en laboratorio deben reflejarse en el campo, por esto se deben obtener buenos resultados en el laboratorio.
- Se recomienda tomar en cuenta la temperatura de mezcla y compactación, puesto que si no se lo hace, no se obtendrán buenos resultados.
- Darle seguimiento a esta investigación, utilizando diferentes clases de polímeros.
- Considero que como estudiantes en formación, debemos estar a la vanguardia en cuanto a temas relacionados con los materiales y técnicas, por esto se propone que en laboratorio se profundicen el estudio de nuevas tecnologías como la expuesta en este documento.