

ANEXO I CARACTERIZACIÓN DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

Esta fase comprende exclusivamente la caracterización de los ligantes asfálticos que son el asfalto convencional y el asfalto modificado con polímeros, estos materiales se utilizan como ligante en el tratamiento superficial bicapa.

Los ensayos desarrollados en esta segunda etapa se encuentran establecidos en normas que son usadas en nuestro medio tales como la ASTM y la AASTHO, el manual de carreteras desarrollado por la administración Bolivia de carreteras volumen 4 donde se describe el procedimiento de cada uno de estos ensayos los parámetros en los cuales se basan, rangos establecidos, requisitos que son necesarios cumplir.

Caracterización del cemento asfáltico convencional (85/100)

El asfalto convencional fue obtenido mediante una solicitud enviada a las oficinas de la alcaldía al Ing. Osvaldo Antelo director de obras públicas municipales.

El betún como ligante asfáltico C.A. (85 – 100) con nombre Betunel proveniente del Brasil, fue proporcionado por la Alcaldía Municipal de Tarija.

Para la caracterizar el cemento asfáltico se procedió a realizar los siguientes ensayos descritos a continuación en el laboratorio de asfaltos de la universidad Juan Misael Saracho.

Figura A 1.1. Realización de la penetración de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de penetración de materiales bituminosos

(Documento referencial ASTM D5 AASHTO T49-97)

Este ensayo determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto a condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo. Si no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal a 25° C.

EQUIPOS Y MATERIALES

Penetrómetro

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

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

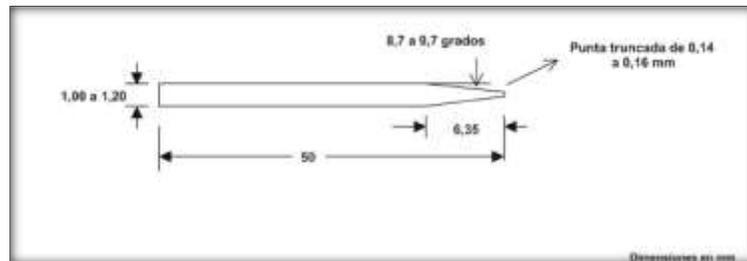
Aguja de penetración

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

Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre 8,7 y 9, 7° con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial de la intersección del cono y la superficie recta no debe exceder de 0,2 mm.

La punta truncada del cono debe tener un diámetro entre 0,14 y 0,16 mm y en ángulo recto al eje de la aguja con una tolerancia de 2°.

Figura A.1.2. Aguja normalizada para ensayo de penetración



Fuente: norma ASTM

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

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

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

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

- Capsulas
- Baño de agua
- Termómetro
- Cronómetro

Descripción del ensayo

Preparación de la muestra

a) Caliente la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de 60°C sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, de acuerdo con el Método de Ensayo ASTM D 36, o no más allá de 90°C sobre el punto de ablandamiento para el caso de los asfaltos. No caliente la muestra por más de 30 min. y evite la incorporación de burbujas en la muestra.

b) Vierta la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensayo, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensayo.

Figura A.1.3.Vertido del cemento asfáltico en las capsulas



Fuente: Elaboración propia.

c) Cubra cada recipiente y sus contenidos como una protección contra el polvo, de manera que permita enfriar en una atmósfera a una temperatura no mayor que 30°C (86°F) y no menor que 20°C (68°F) por no menos de 1½ horas ni más de 2 horas cuando la muestra está en un recipiente de 175 ml (6 oz) y por no menos de 1 ni más de 1½ horas cuando la muestra está en un recipiente del 90 ml (3 oz). Entonces ponga la muestra en el baño de agua mantenido la temperatura prescrita de ensayo, junto con el plato del traslado si es

que se usó, y dejelá por no menos de 1½ horas ni más de 2 horas cuando la muestra está en el recipiente del 175 ml (6 oz), y por no menos de 1 ni más de 1½ horas cuando la muestra está en un recipiente del 90 ml (3 oz).

Figura A.1.4. Muestra sumergidas en baño de agua a 25°C



Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de penetración

d) Examine la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 use una aguja larga; en otros casos, utilice una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de $100 \pm 0,1$ g.

e) Si el ensayo se hace con el penetrómetro en el baño, coloque la cápsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de éste y deje la cápsula con la muestra en el baño, completamente cubierta con agua. Si el ensayo se realiza con el penetrómetro fuera del baño, coloque la muestra en el transportador de cápsula, cúbrala completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubique el transportador sobre la superficie del Penetrómetro.

f) Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con

su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra, para lo cual empleé una fuente luminosa

g) Haga un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro.

Figura A.1.5. Muestras ensayadas



Fuente: Elaboración propia.

Se fundirá la muestra y se enfriará la muestra en agua a una temperatura determinada, la penetración se realiza con una aguja cargada con 100g y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro.

El cemento asfáltico para realizar este ensayo debe estar diluido a cierta temperatura los rangos establecidos según las normas la penetración debe estar entre 85 a 100 mm.

Figura A.1.6. Lecturación de la penetración de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos

(Documento referencial ASTM D113 AASHTO T51-00)

Este método de ensayo determina la ductilidad de un asfalto como la longitud, medida en cm., a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas.

A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de 25 +/- 0,5 °C y a una velocidad de 5 cm/min +/- 5%.

Figura A.1.7. Ensayo de ductilidad.



Fuente: Elaboración propia.

EQUIPOS Y MATERIALES

Moldes

El molde debe ser similar a lo mostrado en la figura 1. El Molde debe ser hecho de bronce, los extremos b y b' son conocidos como sujetadores, y las partes a y a' como lados del molde. Las dimensiones del molde ensamblado serán como lo muestra la figura A.1.8. Con las variaciones permisibles indicadas.

Placa

Para el llenado de los moldes, se dispondrá de una placa de bronce plana, provista de un tornillo lateral de sujeción y con la forma y dimensiones que se detallan en la Figura A.1.7.

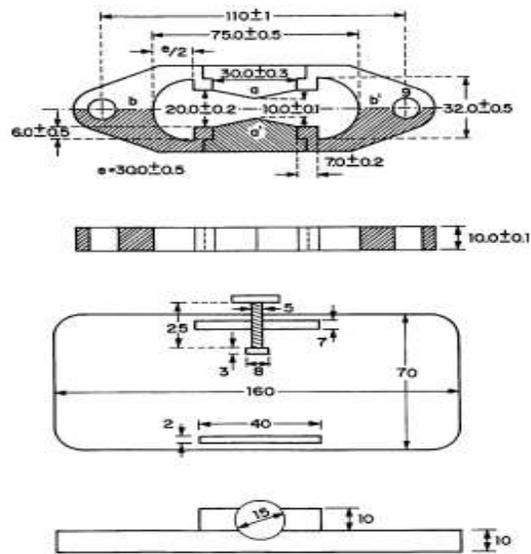
Baño de agua

Un baño de agua que pueda mantener la temperatura de ensayo con una variación máxima de $0,1^{\circ}\text{C}$. Su volumen no será inferior a 10 litros y estará equipado con una placa perforada para la colocación de los especímenes, situada a una distancia mínima de 50 mm del fondo y 100 mm de la superficie.

Ductilímetro

El aparato se denomina ductilómetro y en esencia, consta de un tanque de agua en el que se sumergen los especímenes, provisto de un mecanismo de arrastre que no produzca vibraciones, capaz de separar a la velocidad especificada un extremo de la probeta del otro, que permanece fijo. La tolerancia máxima admitida en la velocidad especificada será del 5%.

Figura A.1.8. Molde y placa para ductilímetro



Fuente: Elaboración propia.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

a) Ensamble el molde en la placa. Cubra completamente la superficie de la plancha y superficies interiores de los lados a y a', Figura B.1., del molde con una capa delgada de

una mezcla de glicerina y vaselina líquida, talco, para impedir que el material bajo la prueba se adhiera.

b) Calentar cuidadosamente la muestra previniendo el sobrecalentamiento local hasta que se haya puesto suficientemente fluido para verter. Después de un agitado continuo, vacie dentro del molde. En el llenado, vierta el material en un ligero torrente atrás y delante de extremo a extremo del molde hasta rebalsar el molde. Dejar el molde, conteniendo el material a una temperatura ambiente por un periodo entre 30 a 40 minutos y luego ponerlo en el baño de agua manteniéndolo a una temperatura de prueba especificada por 30 minutos; entonces eliminar el exceso de bitumen con un emparejador o espátula justo al ras del molde.

Figura A.1.9. Vertido del asfalto en los moldes



Fuente: Elaboración propia.

c) Coloque el plato base y molde, con espécimen de la briqueta, en el baño de agua o la máquina de ensayo y mantenga la temperatura especificada por un periodo de 85 a 95 minutos.

Figura A.1.10. Muestras sumergidas en baño maría a 25°C



Fuente: Elaboración propia.

d) Transcurrido este tiempo sacar los separadores centrales y colocar los moldes en los orificios de la plancha del ductilometro a 25°C.

e) A continuación se pone en funcionamiento el motor del ductilometro a razón de 5 cm por minuto, hasta que el hilo que une los dos extremos se rompa.

Figura A 1.11. Lectura de la ductilidad.



Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland (Documento referencial ASTM D22 AASHTO T48)

Este método de ensayo describe el procedimiento para determinar la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, creando un destello en presencia de una llama abierta.

La finalidad de la prueba es identificar la temperatura máxima a la cual el producto puede ser manejado sin peligro de que se inflame.

EQUIPOS Y MATERIALES

Copa abierta de Cleveland

Consiste en una copa de ensayo, una placa de calentamiento, un aplicador de la llama, un calentador y apoyos.

Termómetro

Un termómetro que tenga un rango de -6 a 400°C

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a) Calentar C.A. a 140 C .
- b) Traspasar la muestra al vaso hasta la línea de llenado.

Figura A.1.12. Vertido de la muestra en el vaso



Fuente: Elaboración propia

c) Colocar el termómetro en el bulbo suspendido a 0,6 cm del fondo.

d) Calentar la muestra uniformemente de modo que la velocidad de temperatura este entre 14 C a 17 C por minuto hasta llegar a 56 C aproximadamente por debajo del punto de inflamación. (176 C)

Figura A.1.13. Proceso de calentamiento del material bituminoso y control de la temperatura



Fuente: Elaboración propia

e) Reducir el calentamiento de 5 °C a 6 °C por minuto hasta la inflamación de la muestra.

f) Aplicar la llama pequeña del mechero cuando la muestra este en (202 °C) tipo 85-100 repetir esta operación cada 10°C de aumento de temperatura. Hasta que se inflame.

g) A la temperatura que produce una llamarada en cualquier punto de la superficie de la muestra se llama punto de inflamación.

No requiere de cálculo por ser el resultado de la lectura directa del termómetro.

Descripción del ensayo

El vaso del ensayo se llena hasta un nivel especificado con la muestra. La temperatura de la muestra es aumentada rápidamente al principio y entonces a una proporción lenta constante a medida que el punto de destello se aproxima, en intervalos especificados una llama pequeña se pasara por encima del vaso. Para determinar el punto de inflamación, se

continúa con el ensayo hasta que la aplicación de la llama ocasiona que el aceite se incendie y se queme durante por lo menos 5 segundos.

Figura A.1.14. Realización del ensayo de punto de inflamación.



Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de viscosidad cinemática

(Documento referencial ASTM D2170 AASHTOT201-01)

Este método de ensayo tiene como finalidad determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación.

Descripción del ensayo

La viscosidad se mide en el ensayo de viscosidad cinemática. El cual se basa en la medida del tiempo necesario para que fluya un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, como temperatura y altura del líquido, rígidamente controladas. Los asfaltos presentan un amplio rango de viscosidades, siendo necesario disponer de diversos viscosímetros que difieren en el tamaño del capilar.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Viscosímetro
- Termómetro
- Baño
- Cronometro

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

a) Caliente la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamientos locales hasta que llegue a estar suficientemente fluida para vaciarla; ocasionalmente agitar la muestra para ayudar a la transferencia de calor y asegurar uniformidad.

Figura A.1.15. Calentando la muestra con cuidado para evitar sobrecalentamientos



Fuente: Elaboración propia.

b) Transfiera un mínimo de 20 ml en un contenedor adecuado y caliente a $135 \pm 5^{\circ}\text{C}$; agitando ocasionalmente para prevenir sobrecalentamientos locales, teniendo cuidado que no entre aire al interior de la muestra.

c) Seleccionar un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor que 60 seg, y precaliente a la temperatura de ensayo.

d) Colocar el cemento asfáltico en el viscosímetro, y este dentro del matraz lleno de aceite calentado a 135°C . Medir el tiempo requerido para que el borde del menisco pase de la primera marca de tiempo a la segunda.

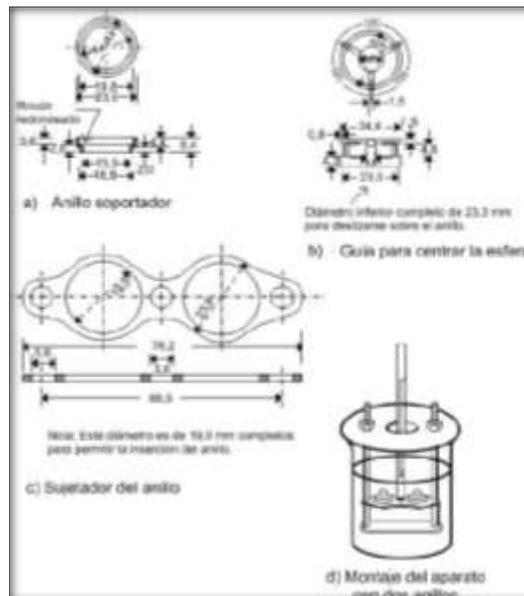
Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (Documento referencial ASTM D36-89 AASHTO T53-92)

Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a diferentes temperaturas. El punto de ablandamiento es otra medida de consistencia y se determina usualmente por el método de ensayo del anillo y bola. Se establece entonces un punto de ablandamiento, determinado por la temperatura a la que alcanza un determinado estado e fluidez.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Anillos de bronce
- Bolas de acero
- Guías de contacto de las bolas
- Recipiente de vidrio
- Soporte de anillos y montaje completo
- Termómetros

Figura A.1.16. Componentes del aparato para el ensayo de punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a) Calentar C.A. a 140 C
- b) Transferir C.A. (140 C) al anillo sobre la plancha amalgada

Figura A.1.17. Colocado del cemento asfaltico en los anillos



Fuente: Elaboración propia.

- c) Dejar enfriar por un periodo de 1 a ½ hora
- d) Enrazar la muestra del anillo con una espátula caliente
- e) Colocar el anillo + C.A. con el soporte dentro de un vaso de precipitación con agua destilada.
- f) Bajar la temperatura del agua a 4°C y mantener esta temperatura durante 15 min.

Figura A.1.18. Proceso para bajar la temperatura a 4°C



Fuente: Elaboración propia.

g) Calentar el agua del vaso a una velocidad de 5 °C por minuto con la esfera sobre la muestra.

h) Efectuar la lectura del termómetro cuando la esfera traspase el anillo y recorra 25,4 mm. De la parte inferior del anillo al fondo del vaso.

Figura A.1.18. Conclusión del ensayo de punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia.

No requiere de ningún cálculo, lectura directa.

Descripción del ensayo

Este ensayo consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de dimensiones normalizadas, para luego dejar enfriar a la temperatura ambiente por cuatro horas. Sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso específicos. Una vez lista, se suspende la muestra sobre un baño de agua y se calienta el baño de tal manera que la temperatura del agua suba a velocidad constante. Se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura es el punto de ablandamiento.

Ensayo para determinar la gravedad específica de materiales bituminosos (Documento referencial ASTM D70-76; AASHTO T228-93).

Este método de ensayo describe los procedimientos que deben seguirse para la determinación de la gravedad específica o densidad relativa de los materiales bituminosos de consistencia sólida, semisólida o líquida.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Picnómetros
- Baño de agua
- Termómetro
- Balanza
- Agua destilada

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

a) Limpie, seque, y pese completamente el picnómetro al miligramo más cercano. Designe esta masa como A.

b) Llene el picnómetro de agua destilada fresca y hervida a temperatura de la prueba y ponga el tapón en el picnómetro. No permita que ninguna burbuja de aire permanezca en el picnómetro.

Figura A.1.19. Vertido de agua destilada en los picnómetros



Fuente: Elaboración propia.

c) Permita que el picnómetro permanezca en el agua para un periodo de no menos de 30 minutos. Quite el picnómetro, inmediatamente seque la parte superior del tapón con una toalla seca de una sola pasada, entonces rápidamente seque el residuo fuera del área del picnómetro y pesa al miligramo más cercano. Designe la masa del picnómetro más agua como B.

d) Caliente la muestra con cuidado y revuelve para prevenir sobrecalentamiento local, hasta que la muestra se haya puesto suficientemente fluida para verter. En ningún caso, la temperatura debe aumentarse a más de 56°C (100°F) sobre el punto de ablandamiento esperado para alquitrán, o a más de 111°C (200°F) sobre el punto de ablandamiento esperado para el asfalto. No caliente para más de 30 minutos encima de una llama o el plato caliente o para más de 2 horas en un horno, y evita incorporar burbujas de aire en la muestra.

e) Vierta suficiente muestra en el picnómetro limpio, seco y calentado para llenarlo cerca tres-cuarto de su capacidad. Tome precauciones para impedir al material de tocar los lados del picnómetro sobre el nivel final, y para prevenir la inclusión de burbujas de aire. Permita que el picnómetro y sus volúmenes se refresquen a temperatura del ambiente para un periodo de no menos de 40 minutos, y pese con el tapón al miligramo más cercano. Designe la masa del picnómetro más la muestra como °C.

Figura A.1.20. Vertido de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

f) Llene el picnómetro con agua destilada, fresca y hervida a temperatura del ensayo y ponga el tapón en el picnómetro. No permita que ninguna burbuja de aire permanezca en el picnómetro.

g) Permita que el picnómetro permanezca en el baño de agua por un periodo de no menos de 30 minutos. Quite el picnómetro del baño. Seque y pese usando la misma técnica y tiempo como eso emplearon. Designe esta masa de picnómetro más la muestra más agua como D.

Figura A.1.21. Peso del Picnómetro + agua + C.A



Fuente: Elaboración propia.

Descripción del ensayo

El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas.

Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del picnómetro.

Calcule la gravedad específica al tercer decimal más cercano como sigue:

$$G = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

Donde:

A = La masa del picnómetro (más el tapón)

B = La masa del picnómetro lleno con agua

C = La masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto

D = La masa del picnómetro más el asfalto más agua

Caracterización del cemento asfáltico modificado con polímero (60/85)

El asfalto modificado con polímeros fue obtenido mediante una solicitud enviada a las oficinas del SEDECA de Tarija dirigida al Ing. Gustavo Donaire director técnico.

Figura A 2.22. Planta de asfalto del SEDECA.



Fuente: Elaboración propia.

Según el manual de especificaciones técnicas de carreteras volumen 4 desarrollado por la ABC de Bolivia se especifica que se debe realizar estos dos ensayos para asfaltos modificados con polímeros.

Ensayo de recuperación elástica para asfaltos modificados

(Documento referencial ASTM D 6084-06 AASHTO T301-99)

Este ensayo se utiliza en los asfaltos modificados, que comprenden los cementos y emulsiones asfálticas modificadas. El ensayo se efectúa a una temperatura de $13 \pm 0,5$ °C grados centígrados y a una velocidad de 5 cm/ min \pm % para materiales bituminosos elastoméricos se considera una elongación inicial de 20 cm. Para la muestra.

- Materiales
- Moldes
- Desmoldante
- Baño de agua
- Termómetro
- Ductilímetro
- regla

Descripción del ensayo

Para realizar este ensayo se utiliza el ductilímetro, los mismos materiales que son necesarios en el ensayo de ductilidad, el procedimiento de este ensayo tiene similitud con el de recuperación elástica, la diferencia que existe es que a una distancia de 20 cm se procede a cortar el material asfáltico para obtener la recuperación elástica del mismo.

La fórmula que se utiliza para determinar la recuperación elástica del asfalto:

$$Re (\%) = \frac{Lf}{Li} \times 100$$

Donde:

Re (%) = porcentaje de recuperación elástica.

Lf = 20 cm definido por las especificaciones del ensayo.

L_i = longitud de retracción de la muestra (cm), con una aproximación a un decimal

Como se puede observar en la siguiente figura la elasticidad del asfalto modificado con polímeros.

Figura A.1.23. Elasticidad del asfalto modificado con polímeros.



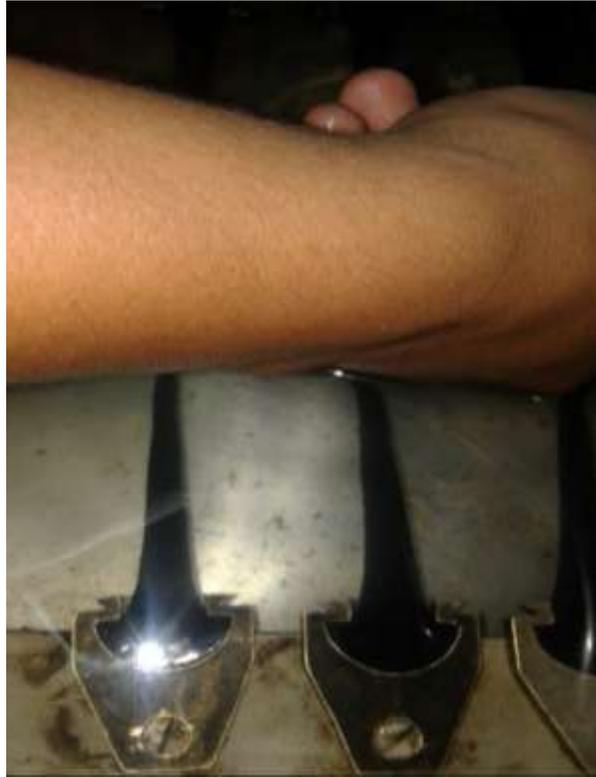
Fuente: Elaboración propia.

Figura A.1.24. Realización del ensayo recuperación elástica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A.1.25. Procedimiento para obtener la recuperación elástica.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa el asfalto modificado con polímeros tiene mayor recuperación elástica comparando con el asfalto convencional por lo que puede traer mucho más ventajas para realizar la construcción de nuevas vías o carreteras, calles, entre otros en nuestro medio.

Convirtiéndose en una nueva técnica o alternativa de trabajo que se puede desarrollar principalmente en la ciudad de Tarija a manera de realizar el mantenimiento y la conservación principalmente de calles q se encuentran totalmente deterioradas debido a que no se realiza el mantenimiento correspondiente.

Ensayo del índice de penetración

(Documento referencial (UNE 104-285).

Este método describe el procedimiento a seguir para la determinación del índice de penetración de los ligantes asfálticos modificados.

Este índice se calcula a partir de los valores de la penetración y del punto de ablandamiento anillo y bola y proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad de estos materiales a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

Descripción del ensayo

El IP. Se basa por una parte, en admitir que, a la temperatura del punto de ablandamiento anillo y bola, la penetración de un ligante asfáltico es de 800 y: por otra parte, que si se elige en ordenadas una escala logarítmica para la penetración, los valores de esta en función de la temperatura se representa por una línea recta.

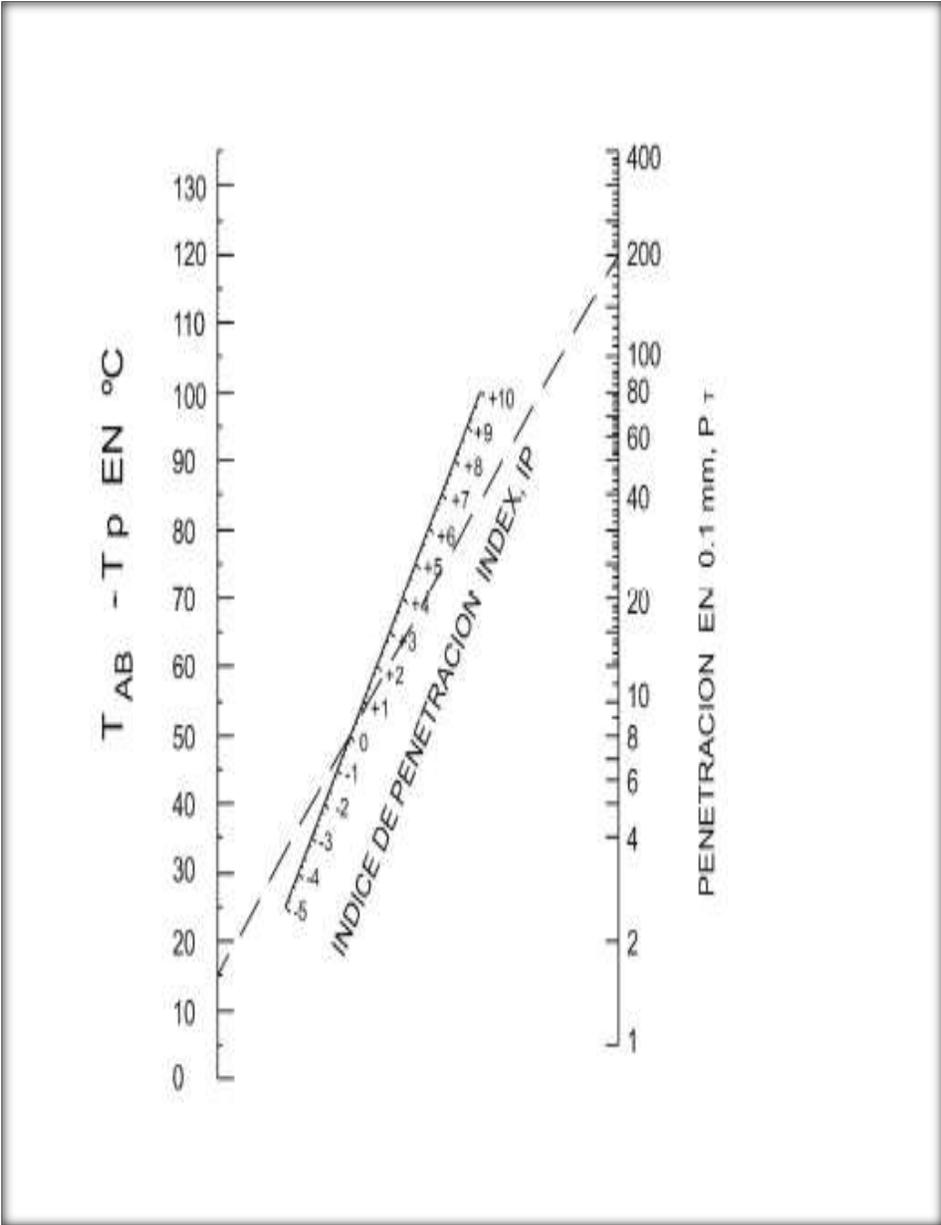
El IP. Se obtiene mediante el nomograma siguiente, se basa en los siguientes parámetros que son temperatura del punto del ablandamiento, temperatura a la que se efectúa la penetración y la penetración de la temperatura en decimas de mm.

Figura A.1.26. Realización del ensayo de penetración.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A.1.27. Nomograma de hukelo bitumen test date Charl.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO II. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PÉTREOS

Esta fase comprende exclusivamente la caracterización de los agregados pétreos que son la grava y la gravilla, el agregado fino que es la arena, son materiales que se utilizan en el tratamiento superficial bicapa.

Los ensayos desarrollados en esta etapa se encuentran establecidos en normas que son usadas en nuestro medio tales como la ASTM y la AASTHO, el manual de carreteras desarrollado por la administración Bolivia de carreteras volumen 4 donde se describe el procedimiento de cada uno de estos ensayos, los parámetros en los cuales se basan, rangos establecidos, requisitos que son necesarios cumplir.

Trabajo de campo

Como primer paso realizado fue obtener el agregado pétreo de la chancadora de la asociación accidental andaluz que está encargada del tramo puerta al Chaco–Piedra larga que forma parte de la carretera del municipio de entre ríos.

Figura A 2.1. Chancadora de los agregados pétreos Asociación accidental andaluz.



Fuente: Elaboración propia.

TRABAJO DESARROLLADO EN LABORATORIO

Se realiza el desarrollo de cada uno de los ensayos necesarios para realizar la caracterización de los mismos.

Análisis granulométrico de los agregados pétreos

(Documento referencial ASTM E40 C136 AASHTO T27-99)

Realizado tanto para el agregado grueso y el agregado fino la granulometría se define como la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un agregado pétreo. Para determinar esto se requiere realizar el análisis mediante tamices definidos según la banda de trabajo a evaluar. Se registran los datos de la granulometría en función de los pesos retenidos, Porcentajes retenidos, porcentajes acumulados retenidos y porcentajes acumulados que pasan por cada tamiz.

Descripción del ensayo

Tiene por objetivo obtener el porcentaje de material que pasa a cada tamiz de la serie de tamices estándar y graficar su respectiva curva granulométrica para establecer la distribución de tamaños de los agregados, los cuales deben estar dentro de las especificaciones establecidas.

Figura A 2.2. Granulometría de los Agregados pétreos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 2.3. Tamizado de los agregados pétreos.



Fuente: Elaboración propia.

Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,075 mm, de una muestra.

Este ensayo se realiza para los agregados que forman parte del tratamiento superficial bicapa tanto para la grava que se va a utilizar en la dosificación de la primera capa del tratamiento superficial y la gravilla en la segunda capa, la arena se hará uso como material de complemento en su mínimo % en la dosificación mayormente para la elaboración de las briquetas de Marshall.

MATERIALES Y EQUIPOS

❖ Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

Figura A 2.4. Balanza electrónica.



Fuente: Elaboración propia.

❖ Tamices

Los tamices seleccionados estarán de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.

Figura A 2.5. Juego de tamices normalizados



Fuente: Elaboración propia

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a)** Antes de realizar el ensayo se debe preparar la muestra, para lo cual se debe separar mediante cuarteo la cantidad necesaria hasta obtener una muestra representativa. Nuestro tamaño nominal de $\frac{3}{4}$ pulg tenemos alrededor de 5 Kg de material.
- b)** A continuación se lava el material para separar las partículas finas que pueden estar pegadas a las gruesas y para retirar la materia orgánica que puede contaminar el ensayo.
- c)** Seleccionar la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material a ensayar (agregado grueso o fino).
- d)** Verter el material lavado y secado en el juego de tamices previamente ensamblados y dispuestos, de arriba abajo, en orden decreciente de tamaños de abertura con el fondo y la tapa.

Figura A 2.6. Proceso de tamizado



Fuente: Elaboración propia

d) Se procede con el tamizado agitando la serie de tamices ensamblados en forma constante, por un tiempo determinado. Terminado el proceso de tamizado se determinara el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza de precisión 0,1gr.

CÁLCULOS

Obtenidos los pesos retenidos en cada malla disponer los datos en una planilla de tal forma que se puedan realizar los respectivos cálculos.

- 1.- Calcular el peso acumulado de los pesos retenidos.
- 2.- Calcular el porcentaje retenido tomando como referencia el peso total de la muestra usada dividida por su peso retenido acumulado multiplicado por 100.

$$\%Retenido = \frac{\text{pesoretenido acumulado}}{\text{pesodelamuestra}} * 100$$

- 3.- Luego invertir los porcentajes retenidos y transformarlos en porcentajes pasantes, para esto se debe restar al 100% cada porcentaje retenido acumulado.

$$\% Quepasa = 100\% - \%Retenidoacum.$$

- 4.- Dibujar la curva granulométrica a escala logarítmica donde las abscisas corresponden al tamaño de las partículas y las ordenadas a los porcentajes que pasan.

Las cuales deben estar dentro de los rangos establecidos para la primera capa un agregado de gradación (B) y para la segunda capa (D).

Peso específico y absorción del agregado grueso

(Documento referencial ASTM C127, AASHTO T85)

Este ensayo tiene por objetivo determinar el peso específico a “granel”, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción del agregado pétreo.

En este ensayo se realiza para los agregados pétreos que se van a usar en la dosificación del tratamiento superficial bicapa tanto para la grava y la gravilla, de la misma forma para el agregado fino que es la arena.

MATERIALES Y EQUIPOS

- ❖ Balanza
- ❖ Horno
- ❖ Canastillo porta muestra
- ❖ Estanque (debe permitir contener con holgura el canastillo porta muestra)
- ❖ Recipientes

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

La cantidad mínima de la muestra para este ensayo se determina según la tabla A.1.

Tabla A.1. Cantidad mínima de muestra

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12.5	2.000
19	3.000
25	4.000
37.5	5.000
50	8.000

Fuente: normas para materiales y ensayo de materiales (2011)

a) La muestra para el ensayo consiste de 3kg según la tabla A.1.. Se lava el material con el fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, se eliminara por tamizado las partículas inferiores a 4,75 mm (tamiz N° 4), luego se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

b) Transcurrido las 24 horas, se retira la muestra del agua y se seca con un paño superficialmente a las partículas hasta que desaparezca debe efectuar toda la operación en el menor tiempo posible para evitar la evaporación total del agua.

Figura A 2.7. Material sumergido en agua por 24 horas



Fuente: Elaboración propia

c) Se determina entonces el peso del agregado saturado superficialmente seco, pesando la muestra en una balanza. Se registra ese dato como B.

Figura A 2.8. Muestra con partículas saturadas superficialmente secas



Fuente: Elaboración propia

d) Después de pesar, se colocara la muestra saturada con superficie seca en el canastillo metálico, y se sumerge en agua a 20 ± 3 °C y se sacude para eliminar el aire atrapado, en donde se determinara su peso sumergido. Se registra ese dato como C.

Figura A 2.9. Canastillo metálico, pesas, y control de la temperatura



Fuente: Elaboración propia.

e) Se retirara la muestra del canastillo, cuidando de no dejar partículas atrapadas en el canastillo, y se dejara secar la muestra en ambiente o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto y se pesara para determinar el peso seco. Se registra este dato como A. un horno a una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Se deja enfriar hasta la temperatura.

Figura A 2.10. Determinación del peso sumergido



Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULOS

Los cálculos a realizar serán las siguientes:

Peso específico seco de la muestra

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

Peso específico saturado con superficie seca

$$\text{Peso específico en condición saturada y superficie seca} = \frac{B}{B - C}$$

Peso específico aparente

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

Absorción (%)

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

A = peso seco del agregado, en g

B = peso del agregado saturado superficialmente seca, en g

C = peso del agregado saturado, en g

Peso específico y absorción del agregado fino (Documento referencial ASTM C128; AASHTO T84)

Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS

- ❖ Balanza
- ❖ Horno
- ❖ Recipientes
- ❖ Matraz
- ❖ Molde cónico
- ❖ Pisón

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a) La muestra consiste aproximadamente de 1 kg de material. Se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.
- b) Elimine paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. Revuelva la muestra frecuentemente para asegurar un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.

Figura A 2.11. Secado superficialmente con secadora



Fuente: Elaboración propia.

c) Con el fin de verificar la condición de saturado con superficie seca, se coloca el material dentro del molde cónico, que estará con su diámetro mayor hacia abajo.

d) Se enrasa el material y se procede a compactar suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie. En cada golpe se deja caer el pisón libremente.

Figura A 2.12. Proceso de verificación de la condición de saturado con superficie seca



Fuente: Elaboración propia.

e) Remueva cuidadosamente todo el material sobrante en la superficie, y se procede a levantar el molde verticalmente. Si hay humedad libre la muestra conservara la forma del cono. En este caso se repite con el secado. Una vez que la muestra caiga libremente según su talud natural al retirar el molde, será indicación que la muestra alcanzo la condición saturada superficialmente seca.

f) Se colocan 500 gr de la muestra en el matraz y luego se llena este con agua. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz y luego se dejara reposar un instante.

Figura A 2.13. Determinación del peso de la muestra + matraz + agua



Fuente: Elaboración propia.

g) mida y registre la masa total del matraz con la muestra de ensaye y el agua.

h) Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en un horno de temperatura constante y se procederá a pesar la muestra en condición seca.

CÁLCULOS

Peso específico de la muestra

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

Peso específico de la muestra saturada con superficie seca

$$\text{Peso específico en condición saturada y superficie seca} = \frac{500}{V - W}$$

Peso específico aparente

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

Absorción

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - A}{A} * 100$$

Donde:

A= peso en el aire de la muestra secada al horno en gr.

V= Volumen del frasco

W= peso en gramos o volumen en ml del agua agregado al frasco

Peso unitario de los agregados gruesos y finos

(Documento referencial ASTM: C 29M-97, AASHTO T-19)

Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos y finos.

EQUIPOS Y MATERIALES

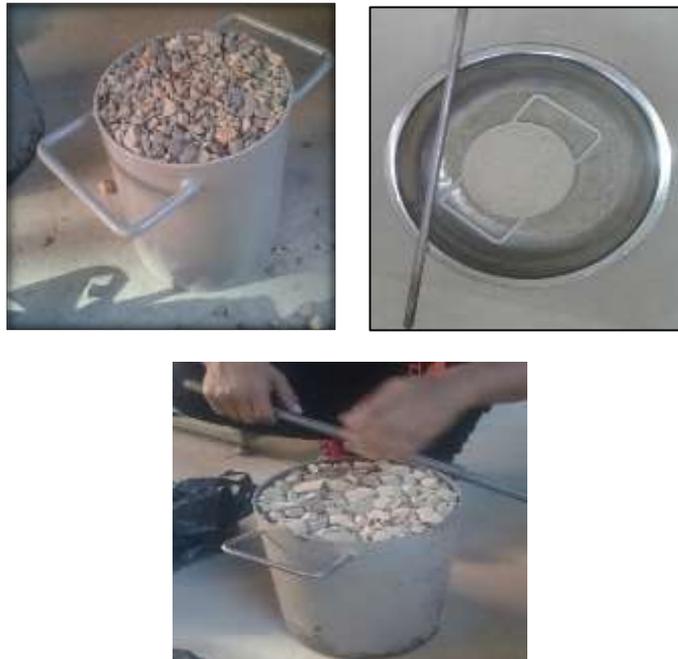
- ❖ Balanza
- ❖ Recipientes de medida metálicos de forma cilíndrica, provisto de agarraderas
- ❖ Varilla compactadora, de acero de 16mm de diámetro y una longitud de 60 cm con el extremo redondeado.
- ❖ Pala de mano o cucharón.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Determinación del peso unitario suelto

a) Con la ayuda de una pala de mano o cucharón se llena el recipiente de medida, descargando el agregado desde una altura no mayor a 50mm hasta que rebose el recipiente.

Figura A 2.14. Peso unitario suelto del agregado grueso y fino



Fuente: Elaboración propia.

- b) Se eliminara el agregado sobrante o en exceso con la ayuda de la varilla
- c) Determinar el peso del recipiente cilíndrico y el peso del recipiente cilíndrico más la muestra del agregado añadida.

Determinación del peso unitario compactado

- d) Llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, emparejar la superficie con los dedos, posteriormente apisonar la capa del agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente. Al apisonar esta primera capa se debe evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente.
- e) Se llena el con el agregado las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar con 25 golpes de la varilla aplicando la fuerza necesaria para que la varilla atraviese solamente la respectiva capa. Finalmente llenar el recipiente hasta rebosar y compactar nuevamente de la manera antes mencionada.

Figura A 2.15. Peso unitario compactado del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

- f) Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, seguidamente determinar el peso del recipiente más el agregado y el peso del recipiente solo.

CÁLCULOS

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando el peso del molde menos la muestra compactada y el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene dividiendo el peso entre el volumen del recipiente.

$$P.U. = \frac{(A - B)}{V}$$

Donde:

A = peso del recipiente más el agregado, en kg.

B = peso del recipiente, en kg.

V = volumen del recipiente, en m³

Equivalente de arena agregado fino

(Documento referencial ASTM D2419 AASHTO T176)

Este método establece un procedimiento rápido para determinar la calidad que tiene un suelo que se va emplear en una carpeta asfáltica de un pavimento; esta calidad desde el punto de vista de su contenido de finos indeseables de naturaleza plástica.

EQUIPOS Y MATERIALES

❖ Probeta graduada

De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho

❖ Pisón

Compuesto por los siguientes elementos:

- Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con hilo en ambos extremos.
- Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarlo a la varilla.
- Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.

d) Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla.

Esta sobrecarga debe ser rectificada de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de $1\text{kg} \pm 5\text{g}$.

- ❖ Sifón
- ❖ Recipiente de medida de 85 ± 5 ml de capacidad
- ❖ Tamiz
- ❖ Recipiente para preparar el reactivo
- ❖ Agitador mecánico
- ❖ Herramientas y accesorios (botellas para reactivo, regla de enrase)
- ❖ Solución de ensayo

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

a) Para la preparación de la solución química se diluirá 22,5 ml de solución para cada 1 lt de agua destilada.

b) Por el sifón verter 102 ± 3 mm de solución de trabajo de cloruro de calcio, en la probeta.

Figura A 2.16. Muestra preparada para realizar el ensayo



Fuente: Elaboración propia

c) Con ayuda del embudo verter en la probeta, aproximadamente 150 gr del suelo preparado.

d) Golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y para humedecer completamente la muestra. Dejar reposar durante 10 ± 1 min.

Figura A 2.17. Muestra de arena introducida en las probetas.



Fuente: Elaboración propia

e) Transcurridos los 10 min., tapan la probeta con un tapón; suelte el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez.

Método manual

f) Sujetar la probeta en posición horizontal y sacudirla vigorosamente de izquierda a derecha.

g) Agitar el cilindro 90 ciclos en 30 segundos, usando un recorrido de 23 ± 3 cm. Un ciclo se define como el movimiento completo a la derecha seguido por otro a la izquierda. El operador deberá mover solamente los antebrazos manteniendo el cuerpo y hombros relajados.

h) Concluida con la operación de agitación, colocar la probeta verticalmente sobre la mesa de trabajo y quitar el tapón.

Proceso de irrigación.

i) El cilindro no deberá moverse de su posición vertical y con la base en contacto con la superficie de trabajo.

j) Introduzca el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, suelte la abrazadera de la manguera y limpie el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador baja.

k) El irrigador debe llegar hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador, esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo sobre las partículas gruesas de arena.

Figura A 2.18. Muestra de arena consolidada en la solución química



Fuente: Elaboración propia

l) Cuando el nivel del líquido alcance la señal de los 38 cm, levante el tubo irrigador despacio sin que deje de fluir la solución, de tal manera que el nivel se mantenga cerca de 38.0 cm mientras se saca el tubo. Regule el flujo justo antes que el tubo esté completamente fuera y ajuste el nivel final a los 38.0 cm.

Lectura de arcilla.

m) Dejar reposar durante 20 min. \pm 15 s. Comience a medir el tiempo luego de retirar el tubo irrigador.

n) Al término de los 20 min., leer el nivel superior de la suspensión de arcilla. Este valor se denomina lectura de arcilla. Si la línea de marca no es clara transcurridos los 20 min. Del período de sedimentación, permita que la muestra repose sin ser perturbada hasta que una lectura de arcilla pueda ser claramente obtenida; inmediatamente, lea y anote el nivel máximo de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si el período total de sedimentación excede los 30 min., efectúe nuevamente el ensayo, usando tres especímenes individuales de la misma muestra. Registre la lectura de la columna de arcilla para la muestra que requiere el menor tiempo de sedimentación como lectura de arcilla.

Lectura de arena.

o) Después de la lectura de arcilla, introduzca en la probeta el ensamblaje del pie (conjunto del disco, varilla y sobrepeso) y baje lentamente hasta que llegue sobre la arena. No permitir que el indicador golpee la boca de la probeta mientras se baja el conjunto.

p) Cuando el conjunto toque la arena con uno de los tornillos de ensamblaje hacia la línea de graduación de la probeta, lea y anote. Restar 25.4 cm. del nivel indicado en el borde superior del indicador y registrar este valor como la lectura de arena.

q) Después de tomar la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar con el pie porque podría dar lecturas erróneas.

r) Si las lecturas de arcilla y arena están entre 2.5 mm de graduación (0.1 pulgadas), registrar el nivel de graduación inmediatamente superior como lectura.

CÁLCULOS

Se calculara el equivalente de arena con la siguiente formula:

$$Eq. Arena = \frac{Lectura\ de\ arena}{Lectura\ de\ arcilla} \times 100$$

Ensayo de desgaste de los agregados por medio de La Máquina de los Ángeles (Documento referencial ASTM C131 AASHTO T96)

Este ensayo es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, plano de debilitamiento, plano de cristalización, forma de las partículas, cuyo objetivo es determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas.

EQUIPOS Y MATERIALES

- ❖ Balanza
- ❖ Tamices
- ❖ Horno
- ❖ Esferas de acero (carga abrasiva)
- ❖ Máquina de los ángeles

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

a) El material deberá ser lavado y secado en horno a temperatura constante de 105-110°C, y el tamizado según las mallas que se indican. Mezclar las cantidades que el método indique según la tabla anterior.

Tabla A.2.2. Tabla de pesos del agregado grueso y número de esferas para el Desgaste de los Ángeles

GRADACIÓN		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10
PESO TOTAL (gr)		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
Nº DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		30	15	15	15

Fuente: Norma ASTM, C131.

b) La muestra de ensayo y la carga designada serán colocadas en la máquina de los ángeles y se pondrá en funcionamiento la maquina a una velocidad de 30 o 33 revoluciones por minuto para las gradaciones A, B, C la maquina se hará rotar el tambor durante 500 revoluciones.

Figura A 2.19. Preparado del material



Fuente: Elaboración propia

c) Al final del ensayo será descargado de la máquina y se hará una separación preliminar en un tamiz # 12.

Figura A 2.20. Colocado del material dentro de la máquina de los ángeles



Fuente: Elaboración propia

d) El material que queda retenido en el tamiz # 12 deberá lavarse, secarse en un horno a 110°C y pesarse seguidamente.

CÁLCULOS

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

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} * 100$$

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

(Documento referencial ASTM D5821-95)

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas con el propósito 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 la partícula 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 (movimiento) 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 determina el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de la muestra del agregado grueso.

EQUIPOS Y MATERIALES

- ❖ Balanza
- ❖ Recipiente

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a) La muestra para ensayo será representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Se separa por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37.5 mm y 9.5 mm (1½" y 3/8"). Descartar el resto.
- b) Lavar la muestra para remover cualquier fino y secarlo.
- c) Extender la muestra seca sobre una superficie plana, limpia y lo suficientemente grande como para permitir la inspección. Para verificar si la partícula alcanza o cumple el criterio de fractura, sostener el agregado de tal manera que la cara sea vista directamente. Si la cara constituye al menos ¼ de la máxima sección transversal, considerara como fracturada.

Figura A 2.21. Separación de partículas fracturada



Fuente: Elaboración propia

- d) Usando una espátula o en firma manual separar el agregado en tres categorías.
- 1.- Partículas fracturadas dependiendo si la partícula tiene el número requerido de caras fracturadas.
 - 2.- partículas que no reúnen el criterio especificado.
 - 3.- partículas cuestionables.

CÁLCULOS

El porcentaje en peso del número de partículas con el número especificado de caras fracturadas, aproximado al uno por ciento de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P = \left[\frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \right] * 100$$

Donde:

P = porcentaje de partículas fracturadas

F = peso de partículas fracturadas, en g.

Q = peso de partículas cuestionables, en g.

N = peso de partículas no fracturadas, en g.

Método para determinar el índice de lajas

(Documento referencial AASHTO C-142)

Este ensayo establece el procedimiento para determinar el índice de lajas de un árido, se define el índice de lajas como el porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de árido considerada.

Descripción del ensayo

- Obtener por cuarteo una cantidad mínima de ensaye.
- Hacer pasar cada una de las partículas a través de las aberturas de los tamices.
- Pesar el total de partículas que pasan por cada tamiz y registre como M_i
- Calcule el índice de lajas de cada fracción I (IL_i), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$IL_i = \frac{MP_i}{MT_i} * 100$$

Dónde:

IL_i : Índice de lajas de la fracción i (%)

MP_i : Masa de material que pasa por la abertura del pie de metro para fracción i (gr)

MT_i : Masa total de ensaye

Figura A 2.22. Tamices utilizados para el ensayo del índice de lajas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 2.23. Determinación del porcentaje de lajas.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXOS III Elaboración de las briquetas de Marshall para el tratamiento superficial bicapa

El tratamiento superficial bicapa se realiza en función de las especificaciones técnicas establecidas, el mismo que se construirá siguiendo el método de la dimensión mínima promedio dicho método esta descrito a continuación.

Ensayo del Marshall aplicado al tratamiento superficial bicapa

En este proyecto de investigación se hace el uso de los moldes de Marshall para realizar la dosificación del tratamiento superficial bicapa, tanto para el asfalto convencional y el modificado con polímeros para poder evaluar el comportamiento del mismo mediante el ensayo de estabilidad y fluencia determinando la resistencia y deformación de las briquetas realizadas.

Para las construcción de las briquetas se realiza de forma diferente que al procedimiento del ensayo del Marshall la principal diferencia que existe en la elaboración del tratamiento superficial bicapa es en la dosificación que se va a realizar en base al método de la dimensión mínima promedio el cual para determinar el porcentaje de asfalto para cada capa viene especificado en rangos establecidos para la dosificación del asfalto , siguiendo el procedimiento del tratamiento superficial puesto en una obra el espesor del tratamiento superficial bicapa es de 25 mm. El cual es una mezcla asfáltica que no es tan pesada lo que para ser compactada se define con una energía de 50 golpes por capa para obtener la compactación adecuada de las briquetas.

Dosificación del tratamiento superficial bicapa

Para la dosificación del tratamiento superficial bicapa se realizó tomando como parámetro principal el método de la dimensión mínima promedio desarrollado en el manual de especificaciones técnicas de carreteras elaborado por la administración boliviana de carreteras de Bolivia, para determinar la cantidad de agregado pétreo y el ligante asfáltico utilizado para la elaboración de cada briquea.

Para determinar la cantidad de asfalto y agregados pétreos para la elaboración del tratamiento superficial se basa en diferentes parámetros, los más importantes para el agregado pétreo es determinar la dimensión promedio del agregado al igual que para el asfalto.

Figura A 3.1. Dosificación de las briquetas de Marshall del tratamiento superficial.



Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones para el diseño del tratamiento superficial

El instituto de asfalto propuso un método para el diseño de tratamientos superficiales múltiple, que toma las siguientes consideraciones en cuanto a la tasa de agregados y de ligante asfáltico (Leiva, 2005)

Tasa de agregados

- Debe diseñarse cada capa como si fuese un tratamiento superficial simple.
- Cada capa debe tener un tamaño nominal inferior a la mitad del tamaño nominal de la capa inferior
- No se debe corregir por pérdida de agregados

Tasa de ligante asfálticos

- Diseñar cada capa como si fuese un tratamiento superficial simple.

En tratamientos superficiales múltiples se acostumbra sumar la tasa de ligante de todas las capas y asignarle a cada capa un porcentaje del total.

Cálculo de la cantidad de materiales para el tratamiento superficial bicapa

La metodología utilizada para el cálculo de las cantidades de materiales, fue el método de Dimensión Mínima Promedio.

Tabla A.3.1. Granulometría utilizada para el diseño del tratamiento superficial.

N° tamiz estándar	Abertura (mm.)	Porcentaje que pasa (por peso)			
		B		D	
		Agregado utilizado	Especificación	Agregado utilizado	Especificación
1"	25.4	100.00	100		
3/4"	19	91.91	90-100		
1/2"	12,5	28.40	0-35	100,00	100
3/8"	9,50	4.26	0-12	99,16	85-100
N°4	4,75	0.10	-	30,79	0-35
N°8	2,36	0.10	-	5,84	0-8
N°10	2,00	0.10	-	1,64	-
N°30	0,60	0.10	-	1,05	-
N°50	0,30	0.10	-	0,91	-
N°100	0,15	0.10	-	0,70	-
N°200	0,075	0.10	0-1	0,40	0-1

Fuente: Elaboración propia.

Tasa de agregado

La tasa de agregado se calculara con la siguiente ecuación:

$$C = M * (1 - 0,4 * V) * H * D_{RS} * E$$

Dónde:

C = Cantidad de agregado en kg/m²

M = Factor de evaluación, que depende de las condiciones locales de clima, transito y agregado. Puede ser mayor o menor que 1 (valor normal =1)

V = Porcentaje de huecos en el agregado, expresado en forma decimal:

Se calcula con la expresión:

$$V = 1 - \frac{D_{AS}}{D_{RS}}$$

Drs =Densidad aparente suelta del agregado (kg/m3)

Das = Densidad real seca del agregado (kg/m3)

H = Dimensión mínima promedio del agregado (mm)

Se determina mediante la expresión:

$$H = \frac{TM}{1,09 + 0,0118 * IL}$$

TM = Tamaño medio del agregado (mm)

Abertura del tamiz por donde pasa el 50% del material.

IL = índice de lajas (%)

E = Factor de desperdicio

Ejemplo de cálculo:

Características de los agregados:

1ra aplicación	Densidad aparente suelta (kg/m ³)	1,43
	Densidad real seca (kg/m ³)	2,71
	Índice de lajas (%)	17
2da aplicación	Densidad aparente suelta (kg/m ³)	1,42
	Densidad real seca (kg/m ³)	2,64
	Índice de lajas (%)	10.3

Factores de diseño

El factor de evaluación M, para ambas aplicaciones se tomó el valor recomendado

M = 1, para las dos capas.

Calculo del factor V:

$$\text{1ra aplicación} \quad V1 = 1 - \frac{1,43 \text{ kg/m}^3}{2,71 \text{ kg/m}^3} = 0,47$$

$$\text{2da aplicación} \quad V2 = 1 - \frac{1,42 \text{ kg/m}^3}{2,64 \text{ kg/m}^3} = 0,46$$

Cálculo de H:

$$H = \frac{TM}{1,09 + 0,0118 * IL}$$

Para determinar el tamaño medio TM, se lo realizo mediante interpolación obteniéndose los siguientes resultados.

$$1ra\ aplicacion \quad \frac{91,91 - 28,40}{\log 19 - \log 12,5} = \frac{91,91 - 50}{\log 19 - \log x} = x = 14,42\ mm$$

$$2da\ aplicacion \quad \frac{99,16 - 30,79}{\log 9,50 - \log 4,8} = \frac{99,91 - 50}{\log 9,50 - \log x} = x = 6,6\ mm$$

Remplazando los valores se tiene:

$$1ra\ aplicacion \quad H = \frac{14,42}{1,09 + 0,0118 * 17} \quad H = 11,17\ mm$$

$$2da\ aplicacion \quad H = \frac{6,6}{1,09 + 0,0118 * 10,3} \quad H = 5,45\ mm$$

Determinación del factor E:

Tabla A 3.2. Factor de desperdicio E.

H (mm)	% Desperdicio	Factor E
< 6,5	5	1,05
6,5 - 8,0	4	1,04
8,1 - 9,5	3	1,03
> 9,5	2	1,02

Fuente: TxDOT, 2010.

De la tabla se obtiene los valores del factor E

Para 1ra aplicación E = 1,02

Para 2da aplicación E = 1,05

Con los valores obtenidos de los factores se procede al cálculo de la tasa de agregado para un tratamiento superficial bicapa.

1ra aplicación:

$$C = 1,00 * (1 - 0,4 * 0,47) * 11,17 * 2,71 * 1,02 \quad C = 22.54 \text{ kg/m}^2$$

2da aplicación:

$$C = 1,00 * (1 - 0,4 * 0,46) * 5.45 * 2,64 * 1,05 \quad C = 11.08 \text{ kg/m}^2$$

Tasa de ligante

La cantidad de ligante se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$B = \frac{K * (0,4 * H * T * V + S + A)}{R}$$

Dónde:

B = cantidad de asfalto (l/m²)

K = factor de evaluación, que depende de las condiciones locales de clima, tránsito y agregado. El valor normal es 1.

T = factor de tránsito.

S = corrección por textura superficial de la base

A = corrección por absorción del agregado

R = residuo asfáltico del ligante, expresado en forma decimal.

Ejemplo de cálculo

Determinación del factor

Tabla A 3.3. Factor de tránsito T.

Vehículos por día por carril	<100	100-500	500-1000	1000-2000	>2000
Corrección por tráfico	0,85	0,75	0,70	0,65	0,60

Fuente: TxDOT, 2010

De esta tabla se obtiene los siguientes valores:

1ra aplicación: $T = 0,75$

2da aplicación $T = 0,75$

Estos valores corresponden a un tráfico medio, ya que el tratamiento superficial que se diseña será para un tráfico mediano.

Tabla A 3.4. Corrección por textura superficial S.

Textura Superficial	Corrección S (lt/m ²)
Pav. asfáltico con exceso de asfalto superficial	Hasta - 0,3
Pav. asfáltico de textura cerrada	0,0
Pav. asfáltico de textura abierta	
1	0,1
2	0,2
3	0,3
4	0,4
5	0,5
Baso granular imprimada	0,0 - 0,2

Fuente: TxDOT, 2010.

Los valores que se obtiene de esta tabla son:

1ra aplicación: $S = 0 \text{ lt/m}^2$

2da aplicación: $S = 0 \text{ lt/m}^2$

Cálculo del factor A

Este factor permite cubrir las pérdidas de ligante por absorción del agregado.

El valor recomendado para este factor es $A = 0$

Calculo de la tasa de ligante asfáltico

Reemplazando los datos se obtiene

$$1ra \text{ aplicacion } B = \frac{1 * (0,4 * 11.17 * 0,75 * 0,47 + 0 + 0)}{0,55} \quad B = 2.88 \text{ lt/m}^2$$

$$2da \text{ aplicacion } B = \frac{1 * (0,4 * 5.45 * 0,75 * 0,46 + 0 + 0)}{0,55} \quad B = 1.37 \text{ lt/m}^2$$

La cantidad de asfalto se distribuye según lo establecido en la tabla para la primera capa 40 a 45 % del total para la segunda de un 55 a 60 % del total, el espesor del tratamiento superficial bicapa tiene que llegar a 2.5 cm según lo establecido en las normas.

Dosis total de asfalto: $2.88 + 1.37 = 4.25 \text{ lt/m}^2$

1ra aplicación (40%) tasa = $4.25 \times 0,40 = 1.91 \text{ lt/m}^2$

2da aplicación (55%) tasa = $4.25 \times 0,55 = 2.34 \text{ lt/m}^2$

Cantidad de materiales para un tratamiento superficial bicapa

Para cemento asfáltico convencional 85/100

Densidad del asfalto convencional = $1,028 \text{ gr/cm}^3$

Cantidades determinadas con el método empleado

1ª aplicación	asfalto	1.91	L /m ²
	agregado	22.54	Kg /m ²
2ª aplicación	asfalto	2.34	L /m ²
	agregado	11.08	Kg /m ²

Cantidades determinadas de agregado y ligante asfáltico relacionando con el área de las briquetas de Marshall para obtener la dosificación con la que se va elaborar la briqueeta

1ª aplicación	asfalto	16.07	g /m ²
	agregado	184.21	g /m ²
2ª aplicación	asfalto	19.64	g /m ²
	agregado	90.52	g /m ²

Cantidad de materiales para un tratamiento superficial bicapa

Para cemento asfáltico convencional 60/85

Se aplica el mismo procedimiento que el anterior ejemplo para determinar las cantidades de los materiales a utilizar en función a los porcentajes de asfalto establecidos en la siguiente tabla.

Tabla A 3.5. Distribución de dosis total del ligante, en capas individuales.

Capa	Tratamiento	Tratamiento
	Doble %	Triple %
1a	40-45	30
2a	60-55	40
3a	-	30

Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales asfálticos volumen 4A.

Tabla A 3.6. Dosificación del tratamiento superficial bicapa convencional.

Capas	Material	Cantidad
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 40% del total	16,07
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 55% del total	19,64
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 41% del total	14,64
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 56% del total	20,00
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 42% del total	15,00
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 57% del total	20,36
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 43% del total	15,36
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 58% del total	20,71
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 44% del total	15,71
	agregado (g/m ²)	184,52
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 59% del total	21,07
	agregado (g/m ²)	90,53
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 45% del total	16,07
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 60% del total	21,43
	agregado (g/m ²)	90,52

Fuente: Elaboración propia.

Para cemento asfáltico modificado con polímeros

Para la dosificación del tratamiento superficial bicapa modificado con polimeros se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente para determinar las cantidades de materiales de dicho tratamiento.

Densidad del asfalto modificado = 1.04 g/cm³

Cantidades determinadas con el método empleado

1ª aplicación	asfalto	1.75	l/m ²
	agregado	22.54	kg/m ²
2ª aplicación	asfalto	2.14	l/m ²
	agregado	11.08	kg/m ²

Cantidades determinadas de agregado y ligante asfáltico relacionando con el área de las briquetas de Marshall para obtener la dosificación con la que se va elaborar la briketa

1ª aplicación	asfalto	14.93	g / m ²
	agregado	184.21	g / m ²
2ª aplicación	asfalto	18.25	g / m ²
	agregado	90.52	g / m ²

Con estas cantidades determinadas se elaboran las briquetas del tratamiento superficial para poder evaluarlas

En la siguiente tabla se observa las diferentes dosificaciones realizadas del tratamiento superficial bicapa realizado en función de los distintos porcentajes del asfalto.

Tabla A 3.7. Dosificación del tratamiento superficial bicapa modificado.

Capas	Material	Cantidad
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 40% del total	14,93
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 55% del total	18,25
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 41% del total	13,32
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 56% del total	18,58
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 42% del total	13,94
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 57% del total	18,91
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 43% del total	14,27
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 58% del total	19,25
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 44% del total	14,60
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 59% del total	19,58
	agregado (g/m ²)	90,52
1ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 45% del total	14,93
	agregado (g/m ²)	184,21
2ª aplicación	asfalto (g/m ²) a 60% del total	19,91
	agregado (g/m ²)	90,52

Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.2. Briquetas del Marshall del tratamiento superficial con asfalto convencional y asfalto modificado con polímero.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.3. Determinación del peso saturado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.4. Molde del tratamiento superficial bicapa.



Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de estabilidad y fluencia

El ensayo de estabilidad y fluencia se realiza para evaluar el comportamiento del asfalto modificado en el tratamiento superficial evaluando principalmente la resistencia y la deformación de las briquetas comparando con el asfalto convencional

Figura A 3.5. Colocado de las briquetas en baño maría a 60 °C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.6. Colocado de las briquetas en la mordaza de la prensa de Marshall.



Fuente: Elaboración propia.

Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C esta temperatura representa normalmente representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato de Marshall, aplicado una determinada carga sobre la probeta, se va a determinar la estabilidad y la fluencia de la misma.

La carga aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle, la cual se define como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.

Figura A 3.7. Rompimiento de las briquetas del Marshall del tratamiento superficial bicapa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.8. Briquetas sometidas a la carga de rotura.



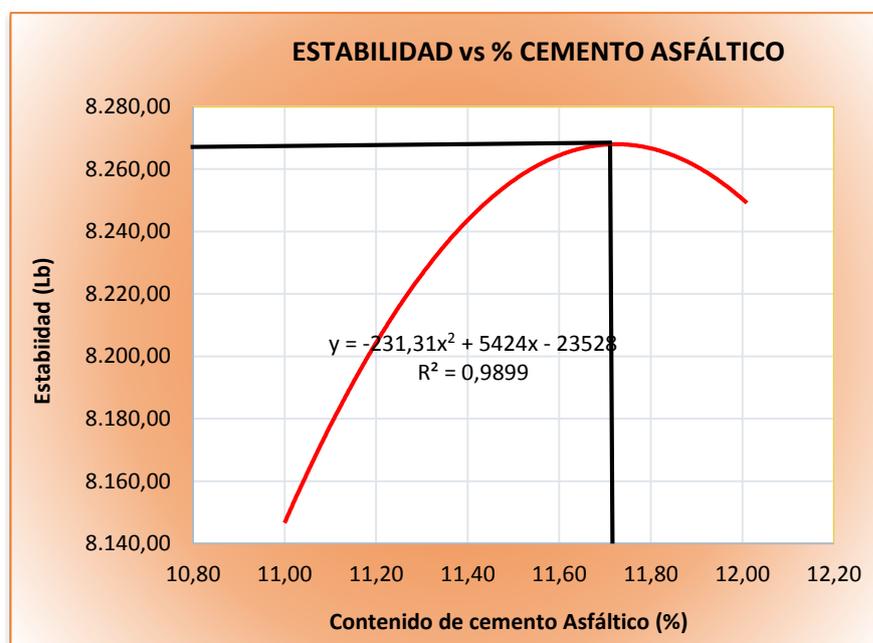
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados determinados de la estabilidad y fluencia del tratamiento superficial bicapa convencional se presentan las siguientes gráficas.

Tabla A 3.8. Resultados del tratamiento superficial bicapa convencional.

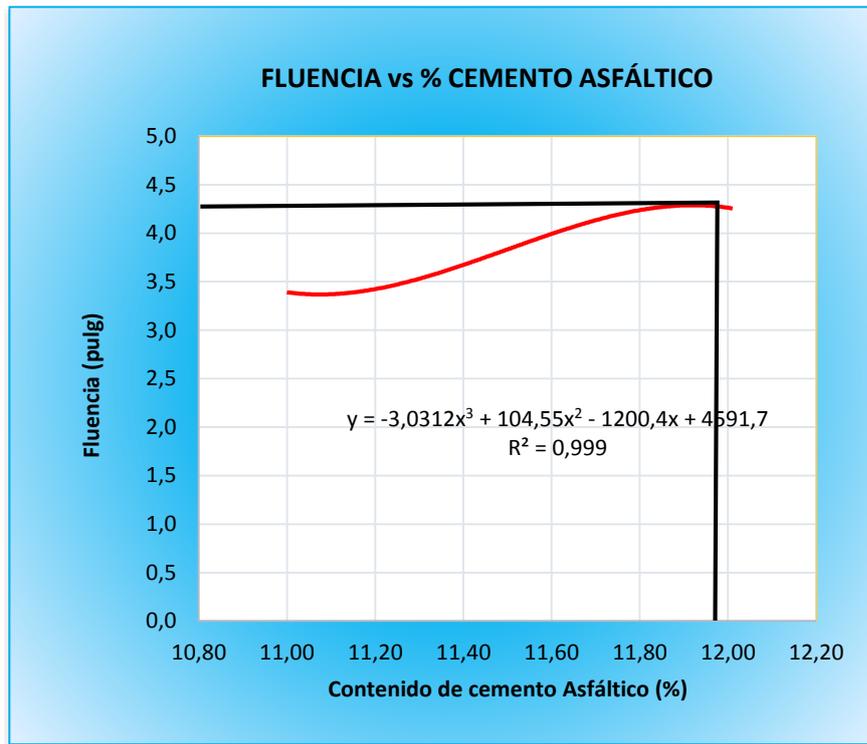
Contenido de cemento asfáltico residual	Contenido de agregado pétreo	Densidad promedio (gr/cm ³)	% de vacíos de mezcla total (%)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)
11,00	89,00	1,856	18,60	8.149,83	3,39
11,20	88,79	1,861	18,16	8.199,96	3,44
11,48	88,52	1,866	17,62	8.249,12	3,78
11,61	88,39	1,868	17,38	8.270,48	4,02
11,81	88,19	1,868	17,14	8.270,29	4,25
12,01	87,99	1,866	17,01	8.245,80	4,25
Cálculos en función a la ecuación	X	11,78	12,01	11,72	11,90
	Y máx.	1,8698	16,9850	8.268,9085	4,21

Figura A 3.9. Estabilidad óptima convencional



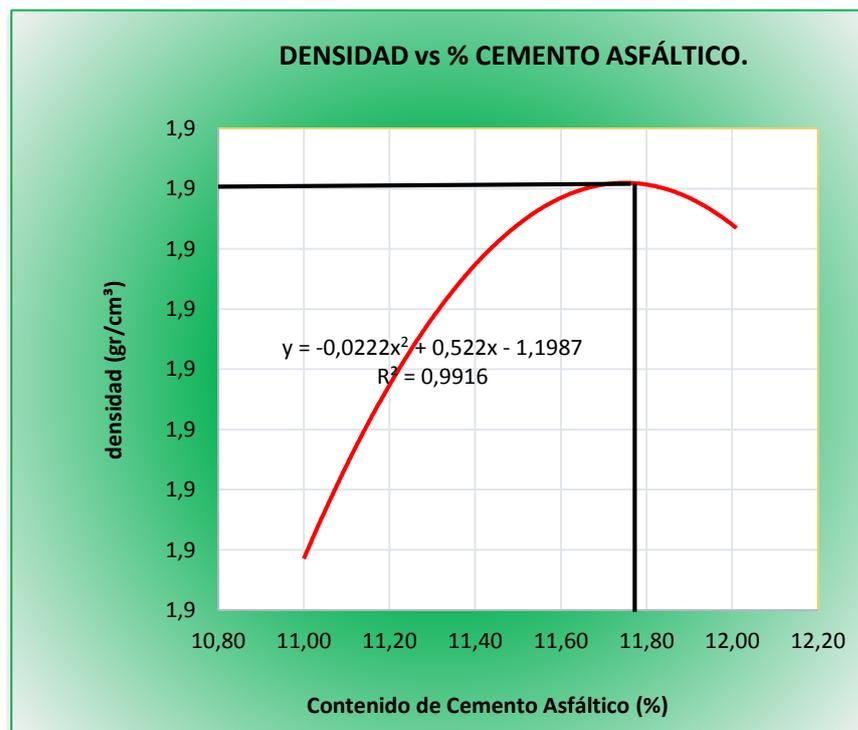
Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.10. Fluencia optima convencional



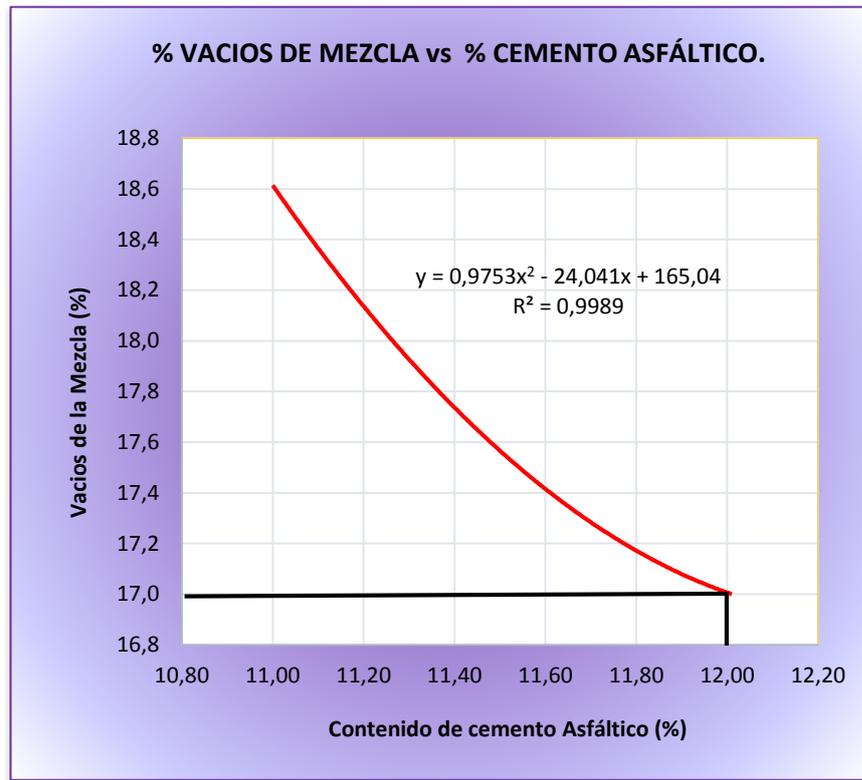
Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.11. Densidad optima convencional



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.12. Porcentaje de vacíos de la mezcla convencional



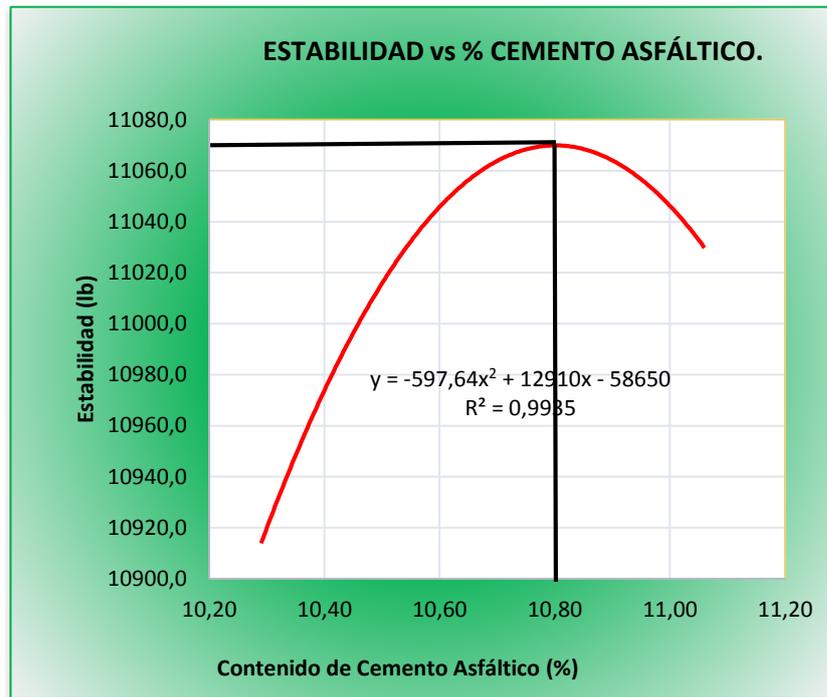
Fuente: Elaboración propia.

Tabla A 3.9. Resultados del tratamiento superficial bicapa modificado.

Contenido de cemento asfáltico residual	Contenido de agregado pétreo	Densidad promedio (gr/cm ³)	% de vacíos de mezcla total (%)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)
10,29	89,71	1,93	16,19	10.919,23	4,37
10,40	89,60	1,94	15,72	10.965,58	4,46
10,68	89,32	1,95	14,93	11.064,44	4,80
10,87	89,13	1,95	14,50	11.068,23	5,04
11,06	88,94	1,96	14,15	11.028,51	5,12
11,25	88,75	1,96	13,95	10.960,52	5,20
Cálculos en función a la ecuación	X	11,16	11,24	10,81	11,28
	Y máx.	1,9552	13,9512	11.070,7797	5,12

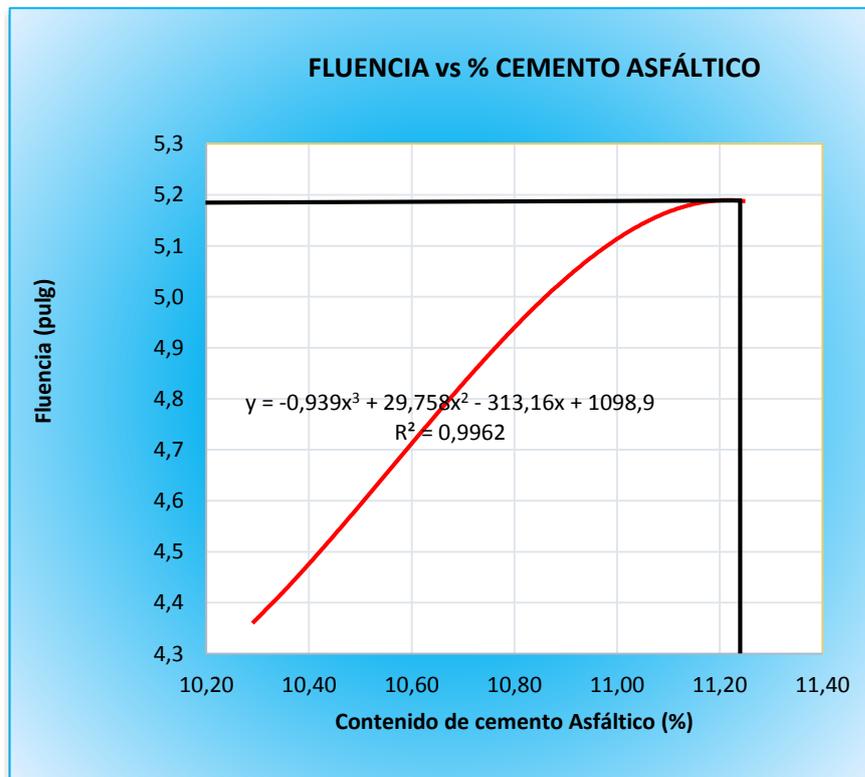
Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.13. Estabilidad optima modificada



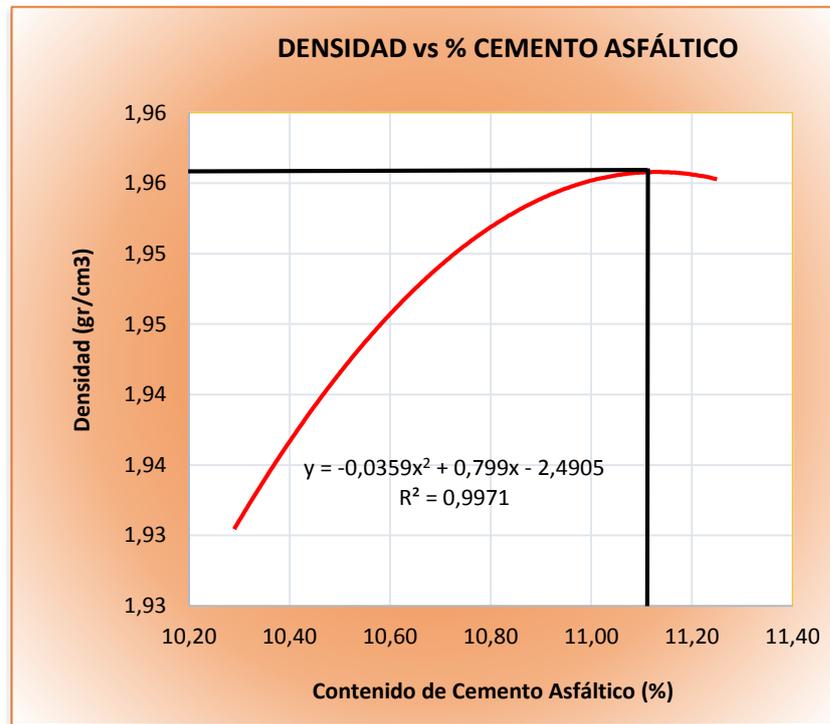
Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.14. Fluencia optima modificada



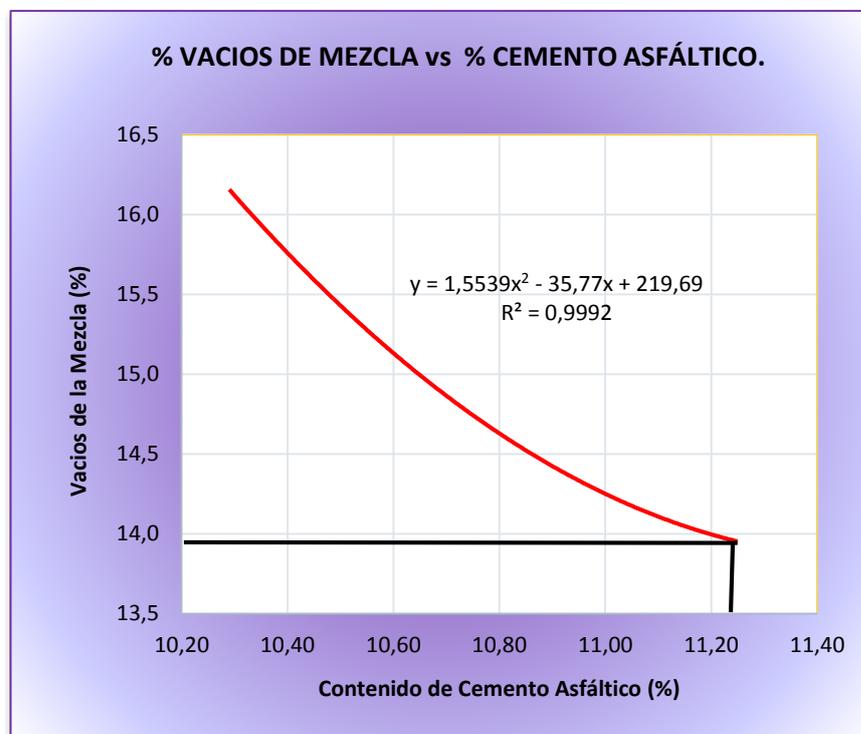
Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.15. Densidad optima modificada



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.16. Porcentaje de vacíos de la mezcla modificada



Fuente: Elaboración propia.

Ensayos para medir el desempeño del tratamiento superficial bicapa

Ensayo del Vialit

Este ensayo se realizó para medir la adherencia entre el agregado utilizado y los dos tipos de cemento asfáltico analizados en el presente proyecto. El procedimiento empleado en este ensayo está conforme a los lineamientos establecidos por el Departamento de Transporte de California.

La construcción de las distintas muestras para el tratamiento superficial bicapa, se realizó una modificación al procedimiento indicado por el Departamento de Transporte de California, cuyo procedimiento está dentro de los parámetros establecidos.

Figura A 3.17. Dispositivo de ensayo de Vialit



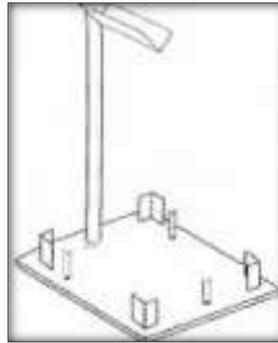
Fuente: Elaboración propia

Equipos e instrumentos utilizados

- **Dispositivo de Vialit**

Este dispositivo consta de una placa con tres apoyos horizontales, sobre la cual se apoyara la placa metálica con el ligante y agregados incrustados, de igual forma presenta un brazo vertical en el cual contiene un canal en el final del brazo para permitir el desplazamiento de la esfera de acero.

Figura A 3.18. Esquema del dispositivo de vialit



Fuente: Elaboración propia

- **Placa o bandeja metálica**

Sera una placa o bandeja metálica, de dimensiones conocidas, sobre la cual se extenderá el ligante asfáltico, en conjunto con los agregados seleccionados para el tratamiento superficial.

Figura A 3.19. Placa o bandeja metálica



Fuente: Elaboración propia

- **Esfera de acero**

Será una esfera de acero de 50 mm de diámetro aproximadamente y un peso de 500 gramos. El cual se dejara caer de una altura aproximada de 50cm sobre la placa o bandeja metálica.

Figura A 3.20. Esfera de acero



Fuente: Elaboración propia

Preparación de las muestras

Determinación de la cantidad de agregados y ligante asfáltico

Para la evaluación de la adherencia de los agregados utilizados en la conformación de tratamiento superficial bicapa, se construyeron especímenes de dos capas, donde el cálculo de la cantidad de agregado y ligante asfáltico para cada una de las capas, se realizó mediante el método de dimensión mínima.

Área de la bandeja metálica utilizada:

Sus dimensiones son $a = 26 \text{ cm}$ $b = 33 \text{ cm}$, dando una superficie de $A = 858,00 \text{ cm}^2$.

Las cantidades de agregado y ligante para las dos capas del tratamiento superficial para el área de la bandeja, dieron los siguientes resultados mostrados a continuación:

Dosificación del ensayo del Vialit.

Tabla A 3.10. Dosificación del ensayo del Vialit convencional.

Tratamiento superficial convencional		Cantidad de agregado utilizado según el tipo de granulometría	
Material	Asfalto (g/m ²)	Agregado B (g/m ²)	Agregado D (g/m ²)
1 ^a aplicación	168.7	1934.33	-
2 ^a aplicación	225.01	-	950.53

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A 3.11. Dosificación del ensayo del Vialit modificado.

Tratamiento superficial modificado con polímeros		Cantidad de agregado utilizado según el tipo de granulometría	
Material	Asfalto (g/m ²)	Agregado B (g/m ²)	Agregado D (g/m ²)
1 ^a aplicación	158.80	1934.33	-
2 ^a aplicación	209.06	-	950.53

Realizado para evaluar la adherencia que existe entre el agregado pétreo y el ligante utilizado para la elaboración del tratamiento superficial. En base a lo que se especifica en lineamiento por el departamento de transportes de california.

Figura A 3.21. Dispositivo del Vialit fabricado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.22. Muestra del ensayo del Vialit.



Fuente: Elaboración propia.

Para desarrollar el procedimiento de este ensayo se basa en los parámetros descritos en su alineamiento o en las especificaciones dadas, este ensayo se realiza tanto para el tratamiento superficial bicapa con asfalto modificado con polímeros y con el asfalto convencional.

Figura A 3.23. Determinando las características adhesivas de los materiales del tratamiento superficial bicapa.



Fuente: Elaboración propia

Ensayo del barrido

El ensayo de barrido (Sweep Test), estandarizado por la norma ASTM D7000, sirve como parámetro para medir el desempeño del tratamiento superficial en su etapa inicial, es utilizado para aproximar el tiempo de apertura al tránsito luego de colocar el tratamiento superficial.

Con este ensayo se simulara el barrido de la superficie en campo, utilizando un cepillo para ello, luego del ensayo se calculara la cantidad de agregado perdido. Esta metodología también es utilizada para evaluar la perdida de agregado y la sensibilidad de esta a la variación de la cantidad de ligante aplicado.

Al igual que en el ensayo de Vialit en este ensayo, el cálculo de la cantidad de ligante y agregados se realizó mediante la metodología de la dimensión mínima.

Equipos e instrumentos utilizados

- **Cepillo o escobilla**

Se utilizara para el barrido (efecto abrasivo) a la superficie de las muestras.

- **Placa o bandeja metálica**

Sera un molde metálico, de forma circular, sobre la cual se extenderá el ligante asfáltico, en conjunto con los agregados.

Determinación de la cantidad de agregados y ligante asfáltico

Las cantidades de agregado y ligante para las dos capas del tratamiento superficial para el área del molde metálico, dieron los siguientes resultados mostrados a continuación.

Área del molde = 452,38 cm

Dosificación del ensayo de barrido.

Tabla A 3.12. Dosificación del ensayo del barrido convencional.

Tratamiento superficial convencional		Cantidad de agregado utilizado según el tipo de granulometría	
Material	Asfalto (g/m ²)	Agregado B (g/m ²)	Agregado D (g/m ²)
1ª aplicación	88.98	1019.88	-
2ª aplicación	118.63	-	501.17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A 3.13. Dosificación del ensayo del barrido modificado.

Tratamiento superficial modificado con polímeros		Cantidad de agregado utilizado según el tipo de granulometría	
Material	Asfalto (g/m ²)	Agregado B (g/m ²)	Agregado D (g/m ²)
1ª aplicación	82.67	1019.88	-
2ª aplicación	110.23	-	501.17

Fuente: Elaboración propia.

La distribución de la dosis de ligante en las dos capas de los especímenes fue de 45% para la primera aplicación (1º capa) y de 60 %, para la segunda aplicación (2º capa).

Procedimiento del ensayo

El procedimiento para realizar el ensayo de barrido se describe a continuación:

Se calentara el material asfáltico utilizado hasta diluirla, se agitará el asfalto en forma constante para evitar el sobrecalentamiento, se determinará el peso del molde utilizado para elaborar las muestras, y posteriormente se agregará la cantidad de material asfáltico correspondiente a la capa que se está construyendo, con la cantidad establecida.

Extender con la ayuda de una espátula el ligante asfáltico sobre toda la superficie del molde, con el objetivo de que el ligante cubra uniformemente toda la superficie del plato, inmediatamente después de verter y extender el asfalto, se debe colocar el agregado de la capa correspondiente, simulando el proceso constructivo del tratamiento superficial. Es recomendable apartar las cantidades de agregado por capa antes de iniciar el ensayo, para agilizar el proceso y evitar el enfriamiento del asfalto.

Se procederá a compactar las muestras, para lograr que todas las partículas queden cubiertas por el ligante, y apoyados sobre su cara más plana. La compactación se realizó mediante un rodillo con un peso aproximadamente de 7,9 a 10 kg, se realizó las pasadas en distintas direcciones hasta lograr una superficie plana.

Después de compactar la capa correspondiente, se colocará la muestra en un horno a 40° C durante un tiempo establecido. Transcurrido ese tiempo se saca del horno y se coloca sobre una superficie ventilada por unos 15 min, posteriormente se debe tomar el peso de la muestra.

Luego de transcurrir el tiempo establecido se debe realizar un barrido inicial, para eliminar el exceso de agregado en la muestra. Con el cual se simula lo que ocurre en la construcción de tratamientos superficiales antes de la apertura al tránsito o de colocar una capa superior, en tratamientos superficiales bicapa.

Luego del barrido inicial se coloca el ligante asfáltico con la cantidad establecida para la segunda capa y se repetirá el proceso realizado para la primera capa.

Finalmente una vez conformada la última capa se someterá la muestra al efecto abrasivo de una escobilla, durante un minuto, posteriormente se elimina el material suelto y se registra el peso.

Está concebido para medir únicamente el desempeño de los tratamientos superficiales, especificado en la norma ASTM D7000, según los parámetros descritos en estas especificaciones se elabora el ensayo del barrido para el tratamiento superficial bicapa utilizando los dos tipos de ligantes obtenidos.

Figura A 3.24. Muestra del ensayo del barrido.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.25. Muestra del ligante tomada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 3.26. Ensayo del barrido.



Fuente: Elaboración propia.

El ensayo del barrido se desarrolla para determinar el porcentaje de pérdida del agregado pétreo.



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
AASHTO T-27 ASTM E-40

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO GRUESO (grava)

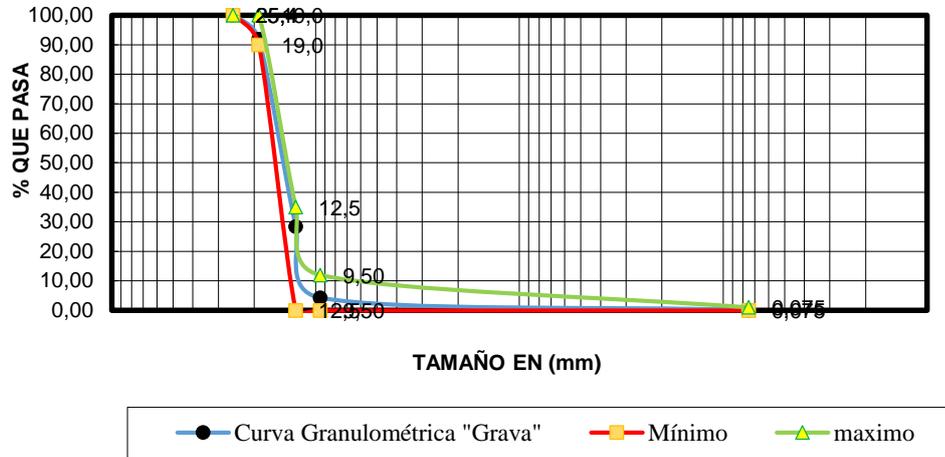
Tamices	Peso Total (g)			5000,3	
	Abertura (mm)	Peso Ret. (g)	Peso retenido acumulado (g) (%)		% que pasa del total
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	404,60	404,60	8,09	91,91
1/2"	12,5	3175,50	3580,10	71,60	28,40
3/8"	9,50	1206,80	4786,90	95,74	4,26
N°4	4,75	208,10	4995,00	99,90	0,10
N°8	2,36	0,00	4995,00	99,90	0,10
N°16	1,18	0,00	4995,00	99,90	0,10
N°30	0,60	0,00	4995,00	99,90	0,10
N°50	0,30	0,00	4995,00	99,90	0,10
N°100	0,15	0,00	4995,00	99,90	0,10
N°200	0,075	0,00	4995,00	99,90	0,10
BASE	-	3,60	4998,60	99,97	0,03
	SUMA	4998,9			
	PÉRDIDAS	1,4			

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

Fernando Colque Mora
TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO (Grava)



Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
AASHTO T-27 ASTM E-40

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO GRUESO (gravilla)

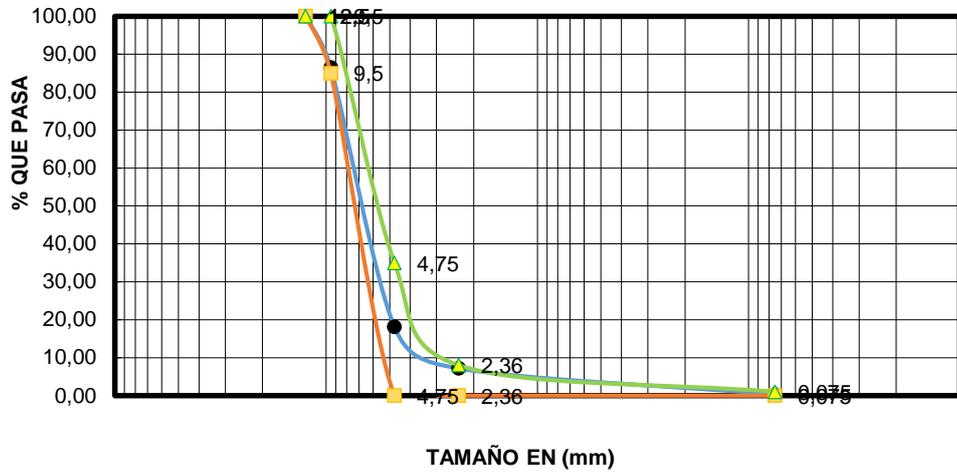
Tamices	Peso Total (g)				5000,3
	Abertura (mm)	Peso Ret. (g)	Peso retenido acumulado (g) (%)		% que pasa del total
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	676,20	676,20	13,52	86,48
N°4	4,75	3418,60	4094,80	81,89	18,11
N°8	2,36	547,60	4642,40	92,84	7,16
N°16	1,18	280,00	4922,40	98,44	1,56
N°30	0,60	29,20	4951,60	99,03	0,97
N°50	0,30	7,20	4958,80	99,17	0,83
N°100	0,15	10,44	4969,24	99,38	0,62
N°200	0,075	15,10	4984,34	99,68	0,32
BASE	-	11,60	4995,94	99,91	0,09
	SUMA	4995,9			
	PÉRDIDAS	4,4			

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

Fernando Colque Mora
TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO (Gravilla)



Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

Fernando Colque Mora
TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
AASHTO T-27 ASTM E-40

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO FINO (arena)

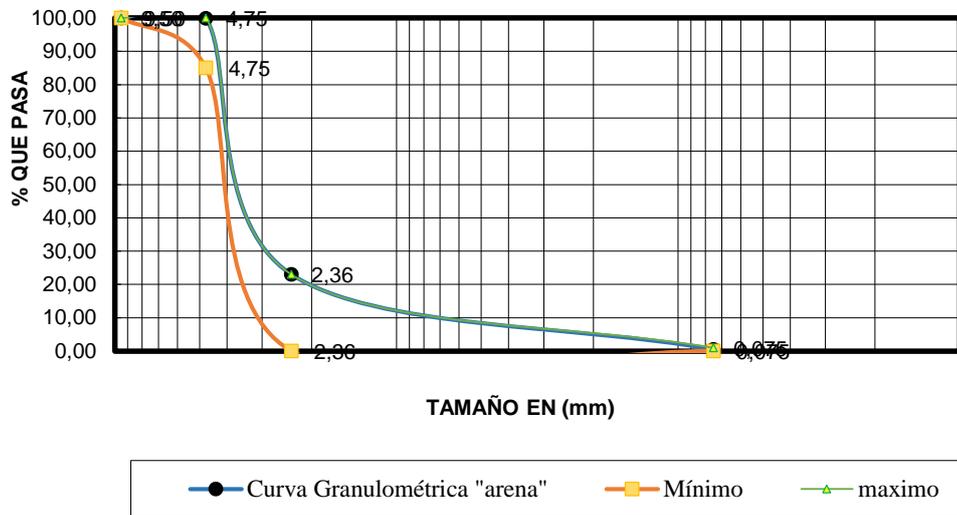
Tamices	Peso Total (g)				5000,4
	Abertura (mm)	Peso Ret. (g)	Peso retenido acumulado		% que pasa del total
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	4,70	4,70	0,09	99,91
Nº8	2,36	3844,70	3849,40	76,98	23,02
Nº16	1,18	536,70	4386,10	87,71	12,29
Nº30	0,60	211,80	4597,90	91,95	8,05
Nº50	0,30	178,90	4776,80	95,53	4,47
Nº100	0,15	108,30	4885,10	97,69	2,31
Nº200	0,075	88,40	4973,50	99,46	0,54
BASE	-	11,70	4985,20	99,70	0,30
	SUMA	4985,2			
	PERDIDAS	15,2			

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO (arena)



Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

Fernando Colque Mora
TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DEHORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS
AASHTO T-85 ASTM C127

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO GRUESO (grava)

Descripción	Unidad	N° Muestra			Promedio
		1	2	3	
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca (B)	g	3030,4	3032,7	3035,6	
Peso Muestra Seca (A)	g	2983,3	2985,9	2989,8	
Peso de la Muestra Suspendida en Agua (C)	g	1885,6	1879,5	1883,3	
Peso Específico del Agregado Seco	g/cm ³	2,606	2,589	2,595	2,60
P. E. A. Saturado Superficialmente Seco	g/cm ³	2,647	2,630	2,634	2,64
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2,718	2,699	2,702	2,71
% de Absorción	%	1,579	1,567	1,532	1,56

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS
AASHTO T-85 ASTM C127

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO GRUESO (gravilla)

Descripción	Unidad	N° Muestra			Promedio
		1	2	3	
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca (B)	g	3012,7	3010,9	3011,6	
Peso Muestra Seca (A)	g	2968,6	2976,1	2980,8	
Peso de la Muestra Suspendida en Agua (C)	g	1845,0	1848,0	1855,0	
Peso Específico del Agregado Seco	g/cm ³	2,542	2,559	2,577	2,56
P. E. A. Saturado Superficialmente Seco	g/cm ³	2,580	2,589	2,604	2,59
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2,642	2,638	2,648	2,64
% de Absorción	%	1,486	1,169	1,033	1,23

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

Fernando Colque Mora
TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS
AASHTO T-84 ASTM C128

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO FINO (arena)

Descripción	Unidad	N° Muestra			Promedio
		1	2	3	
Peso de la Muestra	g	500,0	500,0	500,0	
Peso del matraz	g	177,3	177,3	177,3	
Peso de la muestra + matraz + agua	g	988,4	991,5	989,3	
Peso del agua agregado al matraz "w"	g	311,1	314,2	312,0	
Peso muestra seca (A)	g	492,9	495,1	493,7	
Volumen del matraz "v"	ml	500,0	500,0	500,0	
Peso Específico del Agregado Seco	g/cm ³	2,609	2,665	2,626	2,63
P. E. A. Saturado Superficialmente Seco	g/cm ³	2,647	2,691	2,660	2,67
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2,71	2,74	2,72	2,72
% de Absorción	%	1,42	0,980	1,260	1,22

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS
AASHTO T-27 ASTM C29M

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

PESO UNITARIO SUELTO (grava)

Muestra	Peso recipiente	Volumen recipiente	Peso recip. + muestra suelta	peso muestra suelta	peso unitario suelto	Promedio
N°	(g)	(cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
1	5647.20	10000,00	19970,00	14322,80	1,432	1,426
2	5647.20	10000,00	19866,00	14218,80	1,422	
3	5647.20	10000,00	19888,00	14240,80	1,424	

PESO UNITARIO COMPACTADO (grava)

Muestra	Peso recipiente	Volumen recipiente	Peso recip. + muestra suelta	Peso muestra suelta	Peso unitario suelto	Promedio
N°	(g)	(cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
1	5647.20	10000,00	20635,00	14987,80	1,499	1,508
2	5647.20	10000,00	20660,00	15012,80	1,501	
3	5647.20	10000,00	20885,00	15237,80	1,524	

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

Fernando Colque Mora
TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS
AASHTO T-27 ASTM C29M

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

PESO UNITARIO SUELTO (gravilla)

Muestra	Peso recipiente	Volumen recipiente	Peso recip. + muestra suelta	Peso muestra suelta	Peso unitario suelto	Promedio
N°	(g)	(cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
1	2605,90	3000,00	6798,30	4192,40	1,397	1,418
2	2605,90	3000,00	6885,80	4279,90	1,427	
3	2605,90	3000,00	6895,10	4289,20	1,430	

PESO UNITARIO COMPACTADO

Muestra	Peso recipiente	Volumen recipiente	Peso recip. + muestra suelta	Peso muestra suelta	Peso unitario suelto	Promedio
N°	(g)	(cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
1	2605,90	3000,00	7296,20	4690,30	1,563	1,571
2	2605,90	3000,00	7340,00	4734,10	1,578	
3	2605,90	3000,00	7321,50	4715,60	1,572	

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS
AASHTO T-27 ASTM C29M

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

PESO UNITARIO SUELTO (arena)

Muestra	Peso recipiente	Volumen recipiente	Peso recip. + muestra suelta	Peso muestra suelta	Peso unitario suelto	Promedio
N°	(g)	(cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
1	2603,30	3000,00	7102,50	4499,20	1,500	1,506
2	2603,30	3000,00	7100,20	4496,90	1,499	
3	2603,30	3000,00	7163,70	4560,40	1,520	

PESO UNITARIO COMPACTADO (arena)

Muestra	Peso recipiente	Volumen recipiente	Peso recip. + muestra suelta	Peso muestra suelta	Peso unitario suelto	Promedio
N°	(g)	(cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
1	2603,30	3000,00	7808,50	5205,20	1,735	1,742
2	2603,30	3000,00	7875,40	5272,10	1,757	
3	2603,30	3000,00	7806,90	5203,60	1,735	

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ANGELES
AASHTO T- 96 ASTM C131

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO GRUESO (grava)

GRADACIÓN:

B

CARGA ABRASIVA CON:

11

Esferas a 32,5 RPM

500 Revoluciones

PORCIONES DE MUESTRA:

PASA	RETENIDO	CANTIDAD TOMADA
		g
3/4"	1/2"	2500,6
1/2"	3/8"	2500,2
TOTAL		5000,8

RETENIDO TAMIZ N° 12

3665,8 g

DIFERENCIA

1335,0 g

CÁLCULO:

$$\text{Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

26,70 %

40% Max

OBSERVACIONES:

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ANGELES
AASHTO T- 96 ASTM C131

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO GRUESO (gravilla)

GRADACIÓN:

C
8

CARGA ABRASIVA CON:

Esferas a 32,5 RPM
500 Revoluciones

PORCIONES DE MUESTRA:

PASA	RETENIDO	CANTIDAD TOMADA
		g
3/8"	1/4"	2500,3
1/4"	N° 4	2500,2
TOTAL		5000,5

RETENIDO TAMIZ N° 12	3821,7 g
-----------------------------	-----------------

DIFERENCIA	1178,8 g
-------------------	-----------------

CÁLCULO:

$\text{Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$	23,57	%	40% Max
--	--------------	----------	----------------

OBSERVACIONES:

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES

Fernando Colque Mora
TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE ÍNDICE DE LAJAS
AASHTO C142

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADOS PETREOS (grava y gravilla)

Graduación del agregado	Peso de agregado utilizado	Peso retenido en tamiz ranurado	Peso que pasa tamiz ranurado	Índice de lajas
	g	g	g	%
Gradación B	1000,2	830,18	170,02	17
Gradación D	1000,1	897,09	103,01	10.3

Observaciones:

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS
ASTM D5821-95

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO GRUESO (grava)

ENSAYO N°	1	2	3
peso inicial (gr)	1000,2	1000,6	1000,5
peso fracturadas (f) (g)	744,5	802,3	799,4
peso cuestionables (q) (g)	101,2	103,3	102,5
peso no fracturadas (n) (g)	154,5	95	98,6
% caras fracturadas	79,49	85,34	85,02
PROMEDIO (%)	83,29		

Observaciones:

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS
ASTM D5821-95

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

AGREGADO GRUESO (gravilla)

ENSAYO N°	1	2	3
peso inicial (g)	1000,6	1000,2	1000,4
peso fracturadas (f) (g)	831,5	844,3	838,4
peso cuestionables (q) (g)	75,2	77,6	91,1
peso no fracturadas (n) (g)	94	78,3	70,8
% caras fracturadas	86,85	88,29	88,37
PROMEDIO (%)	87,84		

Observaciones:

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Moisés Díaz Ayarde
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**

Fernando Colque Mora
**TEC. DE LABORATORIO DE HORMIGONES Y
RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ASFALTOS
EQUIVALENTE DE ARENA
AASHTO T-176 ASTM D2419

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Empresa Andaluz (asociación accidental)
REFERENCIA:	Material chancado
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

ENSAYO	LECTURAS			PROMEDIO
	1	2	3	
ENSAYO N°				
LECTURA NIVEL SUPERIOR	12,9	12,3	11,8	
LECTURA NIVEL INFERIOR	10	9,7	8,6	
% DE ARENA	77,5	78,9	72,9	76,4

RESULTADO:

<i>Equivalente de Arena (%)</i>	<i>ESPECIFICACION</i>
76,4	> 50%

Observaciones:

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila C. Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEI SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ASFALTOS
CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFÁLTICO
(85 – 100)

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Alcaldía Municipal de Tarija
REFERENCIA:	Material bituminoso, Betunel
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

ENSAYO	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Prom.	Especificaciones	
						Minimo	Maximo
Peso Picnómetro	g	33,79	33,77	33,78			
Peso Picnómetro + Agua (25° C)	g	80,4	80,58	80,76			
Peso Picnómetro + Muestra	g	56,72	56,55	56,67			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	g	81,27	81,33	80,98			
Peso Específico	g/cm ³	1,039	1,034	1,010	1,028	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	310	307	312	310	230	
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm	101	104	103	103	100	
Penetración a 25°C, 100s, 5seg. (0,1 mm) AASHTO T-49	Lectura N° 1	96	89	93			
	Lectura N° 2	99	98	93			
	Lectura N° 3	98	94	94			
	Promedio	mm	98	95	95	96	85
Viscosidad cinemática	mm ² /seg	321	330	324	325	170	
Punto de ablandamiento	°C	45	44	46	44	43	46
Solubilidad de Tricloroeliten AASHTO T-44	%	No se realizó				99	
Penetración al residuo de pérdida por calentamiento % del original	%	No se realizó				50	
Solvente gasolina standart		No se realizó				NEGATIVO	
Solvente gasolina - xilol, % xilol		No se realizó				NEGATIVO	
Solvente heptano - xilol, % xilol		No se realizó				NEGATIVO	
Pérdida por calentamiento	%	No se realizó					1
Ensayo de película delgada en horno, 163°C, 5 hrs.		No se realizó					
* Pérdida en masa	%						1
* Penetración del residuo, penetración original	%					47	
Porcentaje de agua	%	No se realizó					0,2
índice de susceptibilidad térmica		No se realizó				-1	1
Ensayo de la mancha	°C						

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila C. Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ASFALTOS
CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON
POLIMEROS (60-85)

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
PROCEDENCIA:	Servicio Departamental de Caminos (SEDECA)
REFERENCIA:	Material bituminoso modificado con polímeros
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

ENSAYO	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Prom.	Especificaciones	
						Minimo	Maximo
Peso Picnómetro	g	33,88	33,87	33,75			
Peso Picnómetro + Agua (25° C)	g	85,62	86,52	87,42			
Peso Picnómetro + Muestra	g	59,87	57,32	55,68			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	g	86,66	87,54	88,25			
Peso Específico	g/cm ³	1.042	1,045	1,039	1,042	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	263	262	263	263	218	
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm	51	53	52	52	50	
Penetración a 25°C, 100s, 5seg. (0,1 mm) AASHTO T-49	Lectura N° 1	63	58	55			
	Lectura N° 2	62	56	53			
	Lectura N° 3	60	56	53			
	Promedio	mm	58.7	57	56	57,3	40
Punto de ablandamiento	°C	60	61	58	60	43	
Recuperación elastica	%	18,5	19,5	19	95	85	
Solubilidad de Tricloroeliteno AASHTO T-44	%	No se realizó				99	
Penetración al residuo de perdida por calentamiento % del original	%	No se realizó				50	
Solvente gasolina standart		No se realizó				NEGATIVO	
Solvente gasolina - xilol, % xilol		No se realizó				NEGATIVO	
Solvente heptano - xilol, % xilol		No se realizó				NEGATIVO	
Pérdida por calentamiento	%	No se realizó					1
Ensayo de película delgada en horno, 163°C, 5 hrs.		No se realizó					
* Pérdida en masa	%						1
* Penetración del residuo, penetración original	%					47	
Porcentaje de agua	%	No se realizó					0,2
índice de suceptibilidad térmica		No se realizó				-1	1
Ensayo de la mancha	°C						

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila C. Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ASFALTOS
ENSAYO DE VIALIT

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
MATERIAL:	Muestra elaborada con cemento asfáltico convencional
REFERENCIA:	Porcentaje de perdida
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

N° muestra	Porcentaje de desprendimiento de agregado				
	Primera capa		Segunda capa		Total
	g	%	g	%	%
1	49,70	2,36	41,60	3,54	5,90
2	45,90	2,18	55,64	4,73	6,92
3	51,99	2,47	60,80	5,17	7,64
4	60,52	2,88	51,60	4,39	7,27
5	32,18	1,53	43,68	3,72	5,25
6	47,85	2,28	55,10	4,69	6,96
7	43,30	2,06	63,49	5,40	7,46
8	51,48	2,45	59,24	5,04	7,49
9	53,20	2,53	44,82	3,81	6,34
10	48,69	2,32	39,71	3,38	5,69
11	58,96	2,80	58,10	4,94	7,75
12	59,20	2,81	61,37	5,22	8,04
13	48,24	2,29	40,97	3,49	5,78
14	61,85	2,94	49,28	4,19	7,13
15	52,20	2,48	58,61	4,99	7,47
Media	51.02	2.43	52.27	4.45	6.82
Total	%	100			93.18 %
	%	6.82			

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAE SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ASFALTOS
ENSAYO DE VIALIT

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
MATERIAL:	Muestra elaborada con cemento asfáltico modificado con polímeros
REFERENCIA:	Porcentaje de pérdida
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

N° muestra	Porcentaje de desprendimiento de agregado				
	Primera capa		Segunda capa		Total
	g	%	g	%	%
1	35,10	1,68	32,29	2,78	4,46
2	36,50	1,74	37,05	3,20	4,94
3	33,85	1,62	31,04	2,68	4,29
4	27,90	1,33	33,46	2,89	4,22
5	35,36	1,69	35,30	3,04	4,73
6	33,40	1,60	27,72	2,39	3,99
7	30,72	1,47	36,41	3,14	4,61
8	36,22	1,73	37,49	3,23	4,96
9	34,40	1,64	29,10	2,51	4,15
10	29,90	1,43	34,21	2,95	4,38
11	31,70	1,51	37,63	3,25	4,76
12	34,61	1,65	31,42	2,71	4,36
13	38,73	1,85	36,00	3,10	4,95
14	36,34	1,74	26,25	2,26	4,00
15	31,24	1,49	36,56	3,15	4,65
Media	33,73	1,61	33,46	2,89	4.49
Total	%	100			95.51 %
	%	4.49			

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ASFALTOS
ENSAYO DE BARRIDO

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
MATERIAL:	Muestra elaborada con cemento asfáltico convencional
REFERENCIA:	Resultados de adherencia
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

Ensayo	Tratamiento superficial bicapa convencional				% de la pérdida del agregado
	primera capa (g)	segunda capa (g)	Unidad : Gramos		
Nº	Barrido inicial (Bi)	Barrido inicial (Bi)	total de material desprendido	peso de la muestra después del (Bi)	
1	20.70	29.60	50.38	1678.36	4.55
2	16.58	23.48	40.06	1688.60	4.56
3	35.50	18.40	53.90	1674.76	4.55
4	26.00	32.92	58.92	1669.74	4.55
5	18.90	28.90	47.80	1680.86	4.56
6	20.60	25.13	45.73	1682.93	4.56
7	24.59	36.82	61.41	1667.25	4.55
8	29.35	32.68	62.03	1666.63	4.55
9	25.20	38.60	63.80	1664.86	4.55
10	19.80	28.64	48.44	1680.22	4.56
11	23.65	31.12	54.77	1673.89	4.55
12	18.90	28.22	47.12	1681.54	4.56
13	26.28	33.52	59.80	1668.86	4.55
14	22.60	29.40	52.00	1676.66	4.55
15	18,31	26.35	44.66	1684.00	4.56
Media	22.68	29.14	52.25	1675.93	4.55

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ASFALTOS
ENSAYO DE BARRIDO

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA
MATERIAL:	Muestra elaborada con cemento asfáltico modificado con polímero
REFERENCIA:	Resultados de adherencia
REALIZADO	Patricia Mendoza Castrillo

Ensayo	Tratamiento superficial bicapa modificado				% de la pérdida del agregado
	primera capa (g)	segunda capa (g)	Unidad : Gramos		
Nº	Barrido inicial (Bi)	Barrido inicial (Bi)	total de material desprendido	peso de la muestra después del (Bi)	
1	38.40	37.50	75.90	1638.05	4.50
2	17.60	38.62	56.22	1657.73	4.51
3	32.36	25.35	57.71	1656.24	4.51
4	25.54	39.11	64.65	1649.30	4.51
5	34.25	40.70	74.95	1639.00	4.50
6	32.67	44.36	77.03	1636.92	4.50
7	38.62	31.52	70.14	1643.81	4.50
8	36.40	40.12	76.52	1637.43	4.50
9	30.15	37.82	67.91	1646.04	4.50
10	27.40	36.05	63.45	1650.50	4.51
11	29.34	37.82	67.16	1646.79	4.50
12	26.90	34.62	61.52	1652.43	4.51
13	30.48	27.42	57.90	1656.05	4.51
14	26.74	36.85	63.59	1650.36	4.51
15	29.15	39.00	68.15	1645.80	4.50
media	29.89	36.10	66.51	1647.08	4.50

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DE LABORATORIO DE ASFALTOS

PLANILLAS DE MARSHALL

	UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"									
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA									
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN									
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARIJA-BOLIVIA)									
	LABORATORIO DE ASFALTOS									
	DISEÑO METODO MARSHALL PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD Y LA FLUENCIA TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA CONVENCIONAL									
PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA									
ELABORADO POR: UNIV. PATRICIA MENODZA CASTRILLO					FECHA: JULIO DEL 2019					
						DOSIFICACIÓN				
PESOS ESPECÍFICOS		% de agregado		Número de Golpes						
				50						
Mat. Retenido Tamiz N° 4		2,69 93,95		cemento asfáltico Betunel 85/100		Grava		2,71 66,37		
Mat. Pasa Tamiz N° 4		2,64 6,05		Residuo de Destilación (%)		Gravilla		2,64 32,63		
Peso específico total		2,68 100		Peso Especifico del ligante asfáltico		Arena		2,72 1,00		

N° de briqueta	Denominación	altura de briqueta	% de los materiales		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Flujo		
			% ligante Asfáltico total	% agregado total	P. Seco	P. Sat. Sup. Seca	P. Sumergido en agua		Probeta	Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Maxima Teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(Vacíos Agregados Máximos)	R.B.V. (Relación Betumen Vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real
			%	%	g	g	g	cc	g/cm³	g/cm³	g/cm³	%	%	%	Pulg	libras		libras	libras	mm	-	Pulg
1	1A	2,45	11	89,00	306,2	313,6	148,3	165,3	1,85	1,856	2,280	18,599	38,46	51,64	549	1460,1259	5,875	8578,24	8150	110	0,0433	3,38583
2	1B	2,38			298,3	305,6	145,0	160,6	1,86						523	1390,1131	6,120	8507,49		80	0,0315	
3	1C	2,41			301,5	308,0	146,3	161,7	1,86						474	1258,1659	6,015	7567,87		70	0,0276	
4	1D	2,40			299,7	307,1	146,2	160,9	1,86						514	1365,8779	6,050	8263,56		80	0,0315	
5	1E	2,43			303,2	310,6	146,1	164,5	1,84						496	1317,4075	5,945	7831,99		90	0,0354	
1	2A	2,47	11,2	88,79	305,2	311,5	146,8	164,7	1,85	1,861	2,274	18,158	38,43	52,76	575	1530,1387	5,805	8882,46	8200,0	110	0,0433	3,43701
2	2B	2,45			303,1	307,5	144,6	162,9	1,86						512	1360,4923	5,875	7992,89		90	0,0354	
3	2C	2,39			301,6	307,6	144,8	162,8	1,85						498	1322,7931	6,085	8049,2		110	0,0433	
4	2D	2,40			299,4	304,8	143,8	161,0	1,86						498	1322,7931	6,050	8002,9		90	0,0354	
5	2E	2,44			304,6	309,0	146,9	162,1	1,88						514	1365,8779	5,910	8072,34		100	0,0394	
1	3A	2,43	11,48	88,52	305,6	310,6	146,8	163,8	1,87	1,866	2,265	17,618	38,46	54,19	546	1452,0475	5,945	8632,42	8249	110	0,0433	3,77953
2	3B	2,47			306,1	311,5	147,8	163,7	1,87						500	1328,1787	5,805	7710,08		100	0,0394	
3	3C	2,44			305,7	309,9	146,7	163,2	1,87						535	1422,4267	5,910	8406,54		100	0,0394	
4	3D	2,43			306,7	310,1	145,2	164,9	1,86						510	1355,1067	5,945	8056,11		80	0,0315	
5	3E	2,48			310,6	315,2	148,4	166,8	1,86						550	1462,8187	5,770	8440,46		90	0,0354	
1	4A	2,45	11,61	88,39	306,7	312,1	148,4	163,7	1,87	1,868	2,261	17,378	38,48	54,84	520	1382,0347	5,875	8119,45	8270,5	110	0,0433	4,01575
2	4B	2,46			308,2	313,3	148,2	165,1	1,87						482	1279,7083	5,840	7473,5		80	0,0315	
3	4C	2,39			299,8	304,6	143,7	160,9	1,86						610	1624,3867	6,085	9884,39		130	0,0512	
4	4D	2,45			302,5	307,1	144,9	162,2	1,86						545	1449,3547	5,875	8514,96		100	0,0394	
5	4E	2,45			304,9	310,4	147,6	162,8	1,87						472	1252,7803	5,875	7360,08		90	0,0354	
1	5A	2,47	11,81	88,19	309,9	315,1	149,5	165,6	1,87	1,868	2,255	17,145	38,61	55,60	545	1449,3547	5,805	8413,5	8270,3	120	0,0472	4,25197
2	5B	2,41			308,6	313,2	148,1	165,1	1,87						528	1403,5771	6,015	8442,52		110	0,0433	
3	5C	2,42			310,3	313,0	146,9	166,1	1,87						521	1384,7275	5,980	8280,67		130	0,0512	
4	5D	2,46			306,8	310,2	145	165,2	1,86						550	1462,8187	5,840	8542,86		90	0,0354	
5	5E	2,43			302,5	306,8	145,6	161,2	1,88						486	1290,4795	5,945	7671,9		90	0,0354	
1	6A	2,48	12,01	87,99	305,6	309,2	146,1	163,1	1,87	1,866	2,249	17,014	38,82	56,17	492	1306,6363	5,770	7539,29	8246	100	0,0394	4,25197
2	6B	2,50			311,5	315,6	149,1	166,5	1,87						525	1395,4987	5,700	7954,34		130	0,0512	
3	6C	2,45			309,6	313,6	146,4	167,3	1,85						610	1624,3867	5,875	9543,27		110	0,0433	
4	6D	2,46			308,5	311,5	146,1	165,4	1,87						515	1368,5707	5,840	7992,45		90	0,0354	
5	6E	2,44			307,6	310,2	145,8	164,4	1,87						522	1387,4203	5,910	8199,65		110	0,0433	
Especificación:					mínimo										564		8231			3,86523		
					máximo																3,38583	

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila C. Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS

PLANILLAS DE MARSHALL

	UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"									
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA									
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN									
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARIJA-BOLIVIA)									
	LABORATORIO DE ASFALTOS									
	DISEÑO METODO MARSHALL PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD Y LA FLUENCIA TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA MODIFICADO CON POLÍMEROS									
PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA									
ELABORADO POR: UNIV. PATRICIA MENODZA CASTRILLO					FECHA: JULIO DEL 2019					
						DOSIFICACIÓN				
PESOS ESPECÍFICOS		% de agregado		Número de Golpes						
				50						
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,69	93,95	cemento asfáltico modificado con polimeros 60/85				Grava	2,71	66,37	
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,64	6,05	Residuo de Destilación (%)		60		Gravilla	2,64	32,63	
Peso específico total	2,68	100	Peso Específico del ligante asfáltico		1,028		Arena	2,72	1,00	

N° de briqueta	Denominación	altura de briqueta	% de los materiales		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Flujo							
			% ligante Asfáltico total	% agregado total	P. Seco	P. Sat. Sup. Seca	P. Sumergido	Probeta	Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Maxima	% de vacios mezcla	V.A.M.(Vacuos Agregado Mineral)	R.B.V. (Relacion Betumen)	lectura del dial	carga	factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio					
			%	%	g	g	g	cc	g/cm ₃	g/cm ³	g/cm ₃	%	%	%	Pulg	libras		libras	libras	mm	-	Pulg					
1	1A	2,43	10,29	89,71	306,0	313,5	153,4	160,1	1,91	1,930	2,30	16,19	35,50	54,41	730	1947,52272	5,945	11578,02	10919	110	0,0433	4,3701					
2	1B	2,42			308,4	312,6	154,2	158,4	1,95						695	1853,27472	5,980	11082,58		115	0,0453						
3	1C	2,44			301,6	307,6	152,9	154,7	1,95						680	1812,88272	5,910	10714,14		120	0,0472						
4	1D	2,47			304,2	309,6	150,5	159,1	1,91						725	1934,05872	5,805	11227,21		100	0,0394						
5	1E	2,48			299,6	308,2	152,9	155,3	1,93						650	1732,09872	5,770	9994,21		110	0,0433						
1	2A	2,49	10,4	89,60	302,6	307,8	153,4	154,4	1,96	1,938	2,30	15,72	35,32	55,50	690	1839,81072	5,735	10551,31	10965,6	130	0,0512	4,4606					
2	2B	2,45			304,8	309,3	151,8	157,5	1,94						710	1893,66672	5,875	11125,29		140	0,0551						
3	2C	2,42			305,5	310,9	154,3	156,6	1,95						680	1812,88272	5,980	10841,04		110	0,0433						
4	2D	2,48			308,1	311,6	152,2	159,4	1,93						720	1920,59472	5,770	11081,83		120	0,0472						
5	2E	2,41			299,4	306,4	149,6	156,8	1,91						700	1866,73872	6,015	11228,43		130	0,0512						
1	3A	2,47	10,68	89,32	306,1	312,4	154,9	157,5	1,94	1,948	2,29	14,93	35,17	57,55	690	1839,81072	5,805	10680,1	11064	120	0,0472	4,8031					
2	3B	2,43			305,0	310,3	155,8	154,5	1,97						720	1920,59472	5,945	11417,94		130	0,0512						
3	3C	2,40			302,2	307,2	151,9	155,3	1,95						700	1866,73872	6,050	11293,77		110	0,0433						
4	3D	2,46			300,5	307,7	150,8	156,9	1,92						720	1920,59472	5,840	11216,27		120	0,0472						
5	3E	2,44			298,9	305,9	153,6	152,3	1,96						680	1812,88272	5,910	10714,14		130	0,0512						
1	4A	2,41	10,87	89,13	306,3	311,7	156,6	155,1	1,97	1,953	2,28	14,50	35,15	58,75	700	1866,73872	6,015	11228,43	11068,2	140	0,0551	5,0394					
2	4B	2,43			305,8	310,2	152,8	157,4	1,94						690	1839,81072	5,945	10937,67		110	0,0433						
3	4C	2,45			301,7	309,1	155,9	153,2	1,97						710	1893,66672	5,875	11125,29		120	0,0472						
4	4D	2,48			302,5	307,9	149,8	158,1	1,91						720	1920,59472	5,770	11081,83		140	0,0551						
5	4E	2,40			306,5	311,9	155,9	156,0	1,96						680	1812,88272	6,050	10967,94		130	0,0512						
1	5A	2,46	11,06	88,94	305,7	310,9	154,6	156,3	1,96	1,956	2,28	14,15	35,19	59,79	712	1899,05232	5,840	11090,47	11028,5	130	0,0512	5,1181					
2	5B	2,49			306,9	311,1	153,7	157,4	1,95						680	1812,88272	5,735	10396,88		140	0,0551						
3	5C	2,43			307,5	313,7	155,6	158,1	1,94						708	1888,28112	5,945	11225,83		130	0,0512						
4	5D	2,45			303,9	310,1	156,3	153,8	1,98						724	1931,36592	5,875	11346,77		120	0,0472						
5	5E	2,42			306,8	310,0	152,9	157,1	1,95						695	1853,27472	5,980	11082,58		130	0,0512						
1	6A	2,43	11,25	88,75	300,5	306,3	152,8	153,5	1,96	1,955	2,27	13,95	35,35	60,53	715	1907,13072	5,945	11337,89	10961	130	0,0512	5,1968					
2	6B	2,46			306,9	310,7	154,3	156,4	1,96						698	1861,35312	5,840	10870,3		140	0,0551						
3	6C	2,48			307,2	311,3	155,1	156,2	1,97						714	1904,43792	5,770	10988,61		130	0,0512						
4	6D	2,45			299,1	303,7	150,6	153,1	1,95						686	1829,03952	5,875	10745,61		140	0,0551						
5	6E	2,49			308,8	312,9	153,4	159,5	1,94						710	1893,66672	5,735	10860,18		120	0,0472						
Especificación:					mínimo																		11001			4,8694	
					máximo																						

Patricia Mendoza Castrillo
LABORATORISTA

Ing. Seila C. Ávila Sandoval
RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS

Carlos Marcelo Subía Cruz
TEC. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS