

CAPITULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se estudiaron la influencia que tiene la temperatura de compactación en la vida útil de los pavimentos asfálticos, mediante el ensayo de LOTTMAN para determinar el módulo resiliente.

Se evaluaron los módulos resilientes de un tipo de mezcla asfáltica en caliente con granulometría densa que contiene el mismo agregado, granulometría, contenido de asfalto, tipo de compactación y energía de compactación; variando solo el asfalto y la temperatura de compactación.

Se determinaron los módulos resilientes de las probetas compactadas con dos tipos de asfaltos y diferentes temperaturas de compactación mediante el ensayo LOTTMAN.

Posteriormente se propone una estructura de pavimento, y con la ayuda del software DISPAV-5 y con los módulos resilientes obtenidos para cada mezcla asfáltica en caliente, se determina el número de ejes equivalentes que resiste la estructura de pavimento propuesta, con cada tipo de asfalto y temperatura de compactación.

Se demostró que al reducir la temperatura de compactación la vida esperada en la estructura de pavimento disminuye notablemente.

Se destaca que en este trabajo se encontró que la temperatura óptima de compactación para un cemento asfáltico convencional está alrededor de los 140 °C y para un cemento asfáltico modificado una temperatura de 160 °C las cuales además están recomendadas por el instituto del asfalto, además de demostrarse la importancia de tener una buena temperatura de compactación ya que la misma garantiza unas excelentes propiedades mecánicas y por ende un mejor comportamiento en la vida útil de la mezcla asfáltica.

1.2. ANTECEDENTES

Bolivia como país en vías de desarrollo, ha convertido a las mezclas asfálticas en la principal opción para la pavimentación de caminos debido a los costes del mismo a diferencia del pavimento rígido.

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas, en donde se calientan los agregados y asfalto, para posteriormente mezclarse. Para el diseño de las mezclas asfálticas, el método más usado en Bolivia es el Marshall (1943), el cual determina el óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. Este método poco a poco ha venido decayendo en su uso a nivel mundial, ya que tiene poca correlación con las propiedades comúnmente requeridas para evaluar el fallo y el comportamiento de una mezcla asfáltica.

El proceso que se inicia desde el diseño de mezcla hasta su compactación en el campo, debe ser monitoreado y controlado por el personal responsable de su ejecución. Sin embargo los esfuerzos y las habilidades del inspector resultan ser más evidentes en la colocación de la mezcla asfáltica en la calzada, que en cualquier otro aspecto de la construcción de pavimentos asfálticos.

Con relación a los controles de calidad que se realizan en el proceso de colocación y compactación de la mezcla, la normativa Boliviana para la aprobación o rechazo de una carpeta asfáltica en caliente, se limita principalmente a asegurar la densidad de la mezcla asfáltica compactada sea como mínimo el 95% de la densidad promedio de las probetas elaboradas en el laboratorio y el proceso de compactación debe concluirse antes que la mezcla alcance una temperatura de 90° C.

Este criterio de aceptación es objeto de controversias debido a que se ha demostrado a través de investigaciones, que su cumplimiento no garantiza los criterios que se establecen en la norma referente a los parámetros mecánicos de estabilidad, flujo, cohesión o algún otro parámetro mecánico, que debe tener la mezcla compactada.

Tomando en cuenta la naturaleza de la mezcla asfáltica por su condición de material viscoso; propiedad que se introduce en la mezcla por la presencia del cemento asfáltico, resulta de suma importancia controlar y verificar de modo permanente durante todo el

proceso la temperatura de la mezcla, debido a que el asfalto es un material termoplástico, por lo que su consistencia varía en mayor o menor grado con la temperatura.

Utilizando en esta investigación un método de prueba como es el ensayo de módulo resiliente, capaz de dar información valiosa acerca del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas compactadas a diferentes temperaturas; se espera demostrar a través de la elaboración de gráficas de módulos a diferentes temperaturas, la importancia que tiene compactar las mezclas asfálticas en caliente a una temperatura adecuada.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Para conocer el deterioro que se produce en una estructura de pavimento cuando está sometido al paso de cargas y a los agentes climáticos, es necesario conocer los parámetros que caracterizan a la mezcla asfáltica y definir sus límites de fallo, tanto por fatiga, como por fisuración térmica o deformación plástica. Por tanto es importante saber que ensayo debe utilizarse para caracterizar la mezcla y que análisis se debe realizar a partir de los datos obtenidos.

Generalmente, estos parámetros son los datos básicos utilizados en los modelos teóricos que intentan reproducir el comportamiento estructural de un pavimento. De acuerdo al grado de sofisticación del modelo, variará el tipo de información necesaria a obtener mediante los diferentes ensayos. La elección del tipo de ensayo para determinar las características de una mezcla asfáltica resultará de un balance entre precisión obtenida con el mismo y la factibilidad de su empleo, con el fin de obtener un modelo tan representativo como sea posible del comportamiento en campo del pavimento; pero a la vez de fácil aplicación considerando la disponibilidad de tiempo, recursos económicos y equipamiento.

Algunos investigadores, como Von Quintus, Scherocman y Hughes coinciden según sus experiencias, en que los valores típicos de diseño de una mezcla, tales como los obtenidos con los ensayos Marshall o Hveem, tienen una pobre correlación con las propiedades comúnmente requeridas para evaluar el fallo y el comportamiento de una

mezcla asfáltica colocada en campo, que suelen ser fluencia, resistencia a tracción indirecta, fatiga y deformación permanente.

Sería ideal contar con un ensayo capaz de inducir un estado de tensiones a las probetas, similar al que se produce en la capa real. Roque y Buttlar.

Son tantas variables que intervienen y que hay que controlar, tanto en el proceso de diseño de mezclas como en el proceso de construcción de una carpeta asfáltica que es obligación de los investigadores proporcionar herramientas de fácil manejo para el ingeniero y el constructor, que permitan verificar sobre la marcha, la correcta ejecución de los trabajos de fabricación de mezclas asfálticas y sobre todo de construcción de pavimentos, que garantice en todo momento el cumplimiento de las especificaciones bolivianas vigentes. Es en este entendido que trataremos de demostrar la influencia que tiene la temperatura de compactación sobre una de las propiedades mecánicas como es la resiliencia de la mezcla asfáltica, mediante pruebas en laboratorio que permitan darle una herramienta al ingeniero para controlar la puesta en obra de la mezcla asfáltica.

1.4. DISEÑO TEÓRICO

1.4.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El problema actualmente existe en las vías construidas con mezclas asfálticas en caliente. Se caracteriza por la poca importancia que se le da al control de la temperatura al momento de la construcción y los pocos estudios que existen sobre los efectos de la variación de la temperatura de compactación especificada por el diseño sobre las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica y su efecto sobre el módulo resiliente.

Se ha estudiado que sus efectos más importantes pueden ser; debido a una reducción o aumento de la temperatura de compactación se vea comprometida la serviciabilidad y la vida útil por lo tanto se produzcan un fallo por fatiga temprana, en específico sobre; el módulo resiliente de la mezcla asfáltica lo cual provoca la pérdida de la capacidad de recuperación de la deformación sufrida por la aplicación de las cargas externas cíclicas en este caso la circulación de vehículos. Esto generalmente provoca al usuario molestias de circulación, daños mecánicos a los vehículos e inseguridad de circulación.

En este proyecto, se trata de establecer si existe relación significativa o no entre el problema y los efectos planteados.

1.4.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la falta de investigaciones profundizadas sobre los efectos de la variación de la temperatura de compactación se desconocen los posibles cambios en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica lo que conllevaría a tener una reducida vida útil de la misma por interacción directa entre la temperatura de compactación y el módulo resiliente de una mezcla asfáltica densa en caliente.

1.4.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Con una buena temperatura de compactación de una mezcla asfáltica en caliente se obtendrá un mejor módulo resiliente y por ende una mayor vida útil de la misma, mejorando sus propiedades mecánicas.

1.4.4. VARIABLES

V1: temperatura de compactación: esta variable es la que será motivo de investigación por lo tanto es la variable independiente de esta variable dependerán la variación de las otras variables lo que se hará es utilizar distintas temperaturas en laboratorio para observar como esta va afectando a las demás variables.

V2: módulo resiliente: el módulo resiliente es nuestra variable dependiente ya que esta está directamente relacionada según el comportamiento de la variabilidad de la temperatura de compactación.

V3: vida útil; la vida útil es nuestra variable dependiente ya que está relacionada directamente con el comportamiento del módulo resiliente si este varía la duración del mismo se ve directamente afectado.

Vo: mezclas asfálticas: es nuestro objeto de investigación el cual será sometido a diferentes pruebas para obtener los datos de las variables mencionadas.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la importancia que tiene la temperatura de compactación en una mezcla asfáltica y qué relación tiene con la vida útil de la misma, mediante ensayos de laboratorio que permitan analizar el comportamiento del módulo resiliente o la capacidad de resiliencia del material frente a la variación la de temperatura de compactación de la mezcla asfáltica.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar como el módulo resiliente puede ser usado en el control de calidad de una mezcla asfáltica.
- Realizar graficas de comparación del módulo resiliente vs temperatura para observar la relación entre estos factores y como la variación de uno afecta al otro.
- Realizar una comparación entre un asfalto convencional y uno modificado si al compactar a distintas temperaturas también hay un cambio significativo en el módulo resiliente y que diferencias presentan ambos.
- Estudiar cómo se comporta una mezcla asfáltica terminada si se ha de compactar a temperaturas menores que las especificadas por la norma según el pavimento que se esté usando.
- Verificar la duración de la mezcla asfáltica compactada mediante el uso de un software como es el dispav-2 para diferentes temperaturas de los ensayos.
- Demostrar cuál es la importancia de estudiar algunas características de las mezclas asfálticas en especial el módulo resiliente para así realizar mejores diseños de la capa de rodadura.

1.6. ALCANCE

- Los ensayos concernientes a la determinación de la calidad de los materiales; corresponderán nada más a aquellos que sean de utilidad para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.
- La investigación abordará el diseño teórico y el diseño de laboratorio, excluyendo para la presente; la producción de la mezcla en planta y la realización de tramos de prueba.
- En lo que concierne a la información técnica que se requiera del asfalto, como resultados de ensayos para su clasificación, etc.; estos serán proporcionados por la entidad que proporcione el asfalto para esta investigación.
- La granulometría a utilizar en el diseño que comprende éste trabajo de investigación; se basará en el tamaño máximo nominal del agregado de más empleo en el país: $\frac{3}{4}$ ".
- El diseño obtenido de la mezcla asfáltica en caliente, se analizará para un tráfico alto ya que representa las condiciones más desfavorables a las cuáles se puede someter un pavimento en las carreteras en el país.
- Las probetas de prueba luego de obtenidas a partir de varias temperaturas de compactación serán llevadas a ensayos usando el equipo lottman con el cual mediremos los esfuerzos, lo cual nos permitirá determinar el módulo resiliente de la mezcla asfáltica una vez obtenidos los mismos simularemos usando el paquete dispav-2 la influencia que tiene la temperatura de compactación sobre el pavimento.
- La siguiente investigación será del tipo exploratoria dirigida ya que en la misma se abordaran un tema que carece de información suficiente y hay pocos estudios previos.

CAPITULO II

CONCEPTOS GENERALES SOBRE CEMENTO ASFALTICO

2.1. DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

Una Mezcla Asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo. Una mezcla asfáltica o carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos.

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

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

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

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de pavimentos, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir adecuadamente las cargas debidas al tráfico a la sub-rasante para que sean soportadas por ésta.

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

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

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

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

1. La adherencia del neumático al pavimento.
2. Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
3. El desgaste de los neumáticos.
4. El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
5. La comodidad y estabilidad en marcha.
6. Las cargas dinámicas del tráfico.
7. La resistencia a la rodadura (consumo de combustible).
8. El envejecimiento de los vehículos.

9. Las propiedades ópticas.

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

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

Como resumen, se puede decir que en una mezcla asfáltica, se debe considerar las propiedades siguientes:

- **Estabilidad:** Es la carga máxima que puede soportar la mezcla antes de perder sus propiedades mecánicas y sufrir deformaciones permanentes.
- **Durabilidad:** Es la capacidad que tiene la mezcla de soportar el intemperismo.
- **Resistencia a la fatiga:** Es la capacidad que tiene la mezcla para poder soportar las cargas sin sufrir deformaciones permanentes.

En la mezcla usada en la capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

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

2.1.1. COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

Como ya se describió, una mezcla está compuesta por un material pétreo, un componente asfáltico, y un % óptimo de vacíos, los cuales describiremos a continuación:

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS

Los materiales pétreos para construir mezclas asfálticas son de suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos de depósitos naturales denominados minas o rocas, los cuales, por lo general requieren cribados y triturados para mejorar ciertas características de comportamiento.

Figura 1 agregados, lavados, triturados y separados por tamaños



Los agregados de textura rugosa, equidimensionales, proporcionan más resistencia interna que los redondeados y de textura lisa, como se muestra en la Figura 2. Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna de una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una fuerte masa de material. Las partículas redondeadas, en lugar de trabarse, tienden a deslizarse una sobre otra. Cuando una masa de agregados es cargada

puede generarse dentro de la masa, un plano por el que las partículas sean deslizadas o cizalladas unas respecto a las otras, lo cual resulta en una deformación permanente de la masa.

Figura 2 tipos de agregados



agregado redondeado

agregado cubico

Las características más importantes que dan satisfacción a los materiales pétreos para mezclas asfálticas son: la granulometría, dureza, forma de partícula y adherencia con el asfalto. La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos se cubren por completo con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir. Ya que la superficie a revestir resulta más afectada al aumentar o disminuir los finos que cuando hay un cambio en las partículas gruesas.

2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ASFALTOS

El asfalto es un material de los llamados termoplásticos, el cual es muy complejo desde el punto de vista químico ya que es obtenido como el residuo en el proceso de refinación del petróleo crudo. Esto hace que el control de calidad de este material sea pobre, además de que sea una mezcla muy compleja de estructuras químicas complicadas. Sin embargo, este es un material de suma importancia para la industria de la construcción por sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad

y durabilidad, y sobre todo por el bajo costo ya que, como se mencionó, es el residuo en el proceso de refinación del petróleo.

El asfalto tiene varios nombres como: asfalto o betumen, nafta-betunes, betún, cemento asfáltico, chapopote. Este producto fue conocido alrededor del año 2500 a. C. en Egipto, aunque en esa época no se usaba en la construcción de caminos.

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfáltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, del espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo y que así el asfalto no se oxide con rapidez, pero que no sea tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

El asfalto también llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo como se había mencionado anteriormente y a temperaturas normales es sólido y de color café oscuro. Para mezclarse con los materiales pétreos, normalmente se calienta por lo que es necesaria una planta.

Los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas, dependiendo del vehículo que se empleó para su incorporación o aplicación, como se indica en la Tabla.

Tabla 1 clasificación de los materiales asfálticos. Fuente elaboración propia.

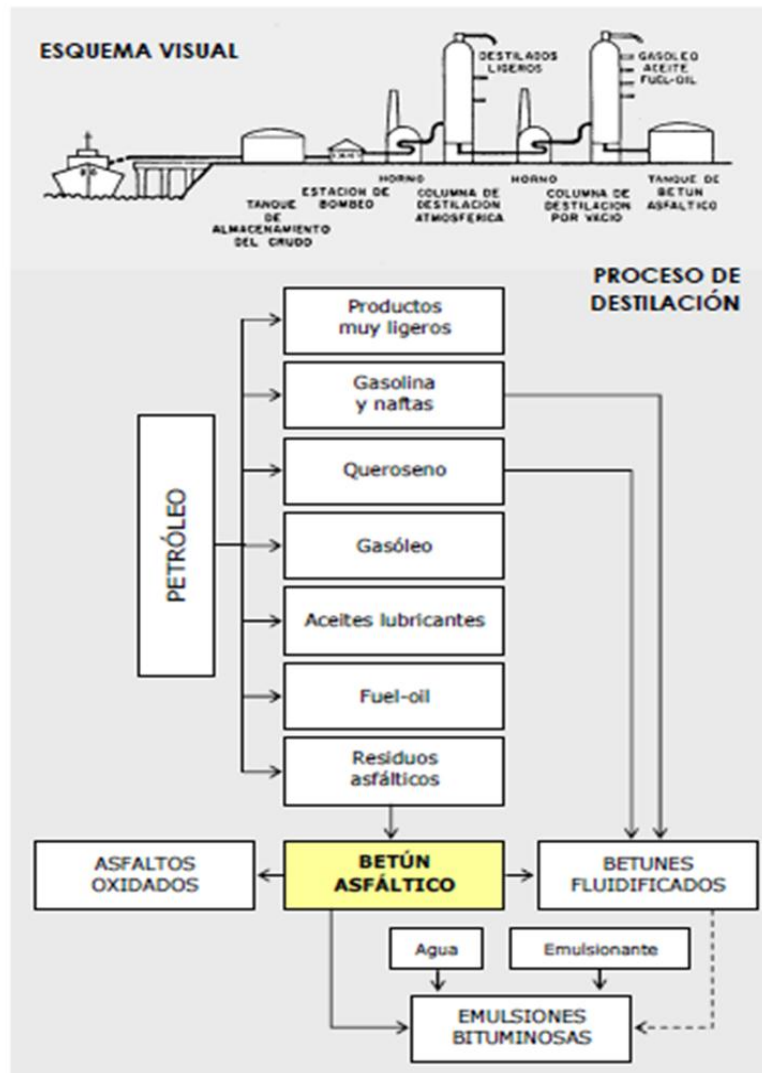
Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizantes, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, negros y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de sub bases y bases hidráulicas

2.2. CEMENTOS ASFALTICOS

Los cementos asfálticos son obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al calentarlos se licúan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas de material pétreo.

PROCESO DE DESTILACIÓN DE PRODUCTOS BITUMINOSOS

Figura 3 proceso de destilación del petróleo



2.2.1. ASFALTOS REBAJADOS

Con el fin de trabajar con el asfalto a temperaturas menores, es necesario fluidificarlo; para ello se producen los asfaltos rebajados y las emulsiones asfálticas.

Los Asfaltos Rebajados se fabrican diluyendo el asfalto en gasolina, tractolina (también conocida como petróleo diáfano), diésel o aceites ligeros.

En el primer caso se obtienen los rebajados de fraguado rápido, denominado FR; en el segundo caso, los rebajados de fraguado medio o FM; y, por último los de fraguado lento o FL. Todos éstos se pueden producir con diferentes proporciones de cemento asfáltico (de 50 a 80%) y los correspondientes solventes o “fluxes” (de 50 a 20%).

Los asfaltos rebajados, que regularmente se utilizan para la elaboración de carpetas de mezcla en frío, así como en impregnaciones de bases y sub-bases hidráulicas; son los materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según su velocidad de fraguado como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2 clasificación de los asfaltos rebajados.

clasificación	Velocidad de fraguado	Tipo de solvente
FR-3	rápida	Nafta, gasolina
FM-1	media	queroseno

Fuente elaboración propia

Para realizar las mezclas con los agregados pétreos y los cementos o los asfaltos rebajados, es necesario que los primeros estén bien secos, pues de otra manera no hay adherencia con el asfalto.

2.2.2. EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas son los materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles: la fase continua de la emulsión está formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico. Se denominan emulsiones asfálticas aniónicas cuando el agente emulsificante confiere polaridad electronegativa a los glóbulos y emulsiones asfálticas catiónicas, cuando les confiere polaridad electropositiva.

Para tener un producto asfáltico que se pueda aplicar o mezclar con pétreos húmedos, se fabrican las emulsiones asfálticas, en las que el cemento asfáltico se suspende en agua, por medio de un emulsificante y un estabilizador. De acuerdo con el emulsificante usado, se producen emulsiones aniónicas y catiónicas, estas últimas resisten mayores humedades en los pétreos (Figura 4.).

Figura 4 emulsiones aniónicas y catiónicas

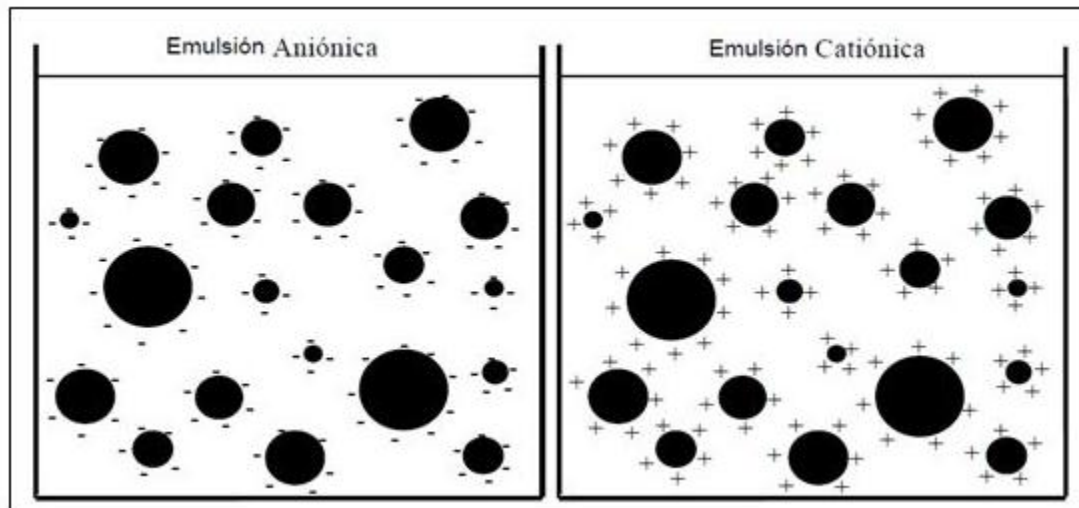
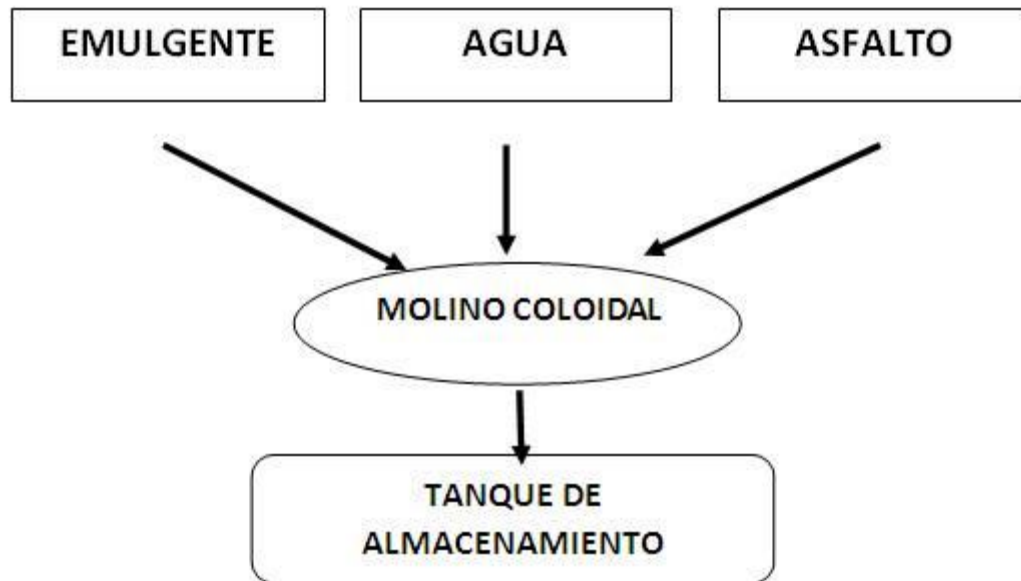


Figura 5 representación esquemática de las emulsiones



Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.
- De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que 2% o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y carpetas.
- De rompimiento lento, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas
- Para impregnación, que particularmente se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.
- Superestables, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

2.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla. Las mezclas asfálticas en caliente se clasifican a su vez en de Granulometría Densa y de Granulometría Abierta.

2.3.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre (37.5 mm, 1½”) y (9.5 mm. 3/8”), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la normas para materiales pétreos para mezclas asfálticas. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

2.3.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre (12.5 mm. ½”) y (6.3 mm. ¼”), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la norma para materiales pétreos para mezclas asfálticas. Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento o donde la precipitación sea menor de 600 mm. Por año.

2.4. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Son las elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o rebajados asfálticos y materiales pétreos. Las mezclas asfálticas en frío se clasifican a su vez en de Granulometría Densa y Morteros Asfálticos.

2.4.1. MESCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos, con tamaño nominal entre (37.5 mm. 1½”) y (9.5 mm. 3/8”), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la norma para materiales pétreos para mezclas asfálticas. Normalmente se utiliza en los casos en que la intensidad del tránsito (ΣL) es igual a un millón de ejes equivalentes o menor, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas para el refuerzo de pavimentos existentes, así como para la reparación de baches.

2.4.2. MORTERO ASFALTICO

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de (2.36 mm. No. 8), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la norma para materiales pétreos para mezclas asfálticas. Normalmente se coloca sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

2.5. ASFALTOS MODIFICADOS

2.5.1. INTRODUCCIÓN

Los asfaltos convencionales tienen limitaciones en su respuesta ante cargas y sollicitaciones climáticas extremas, y su utilización en algunas situaciones puede presentar problemas importantes.

Además, la agresividad y cantidad del tráfico de vehículos sobre las carreteras se ha incrementado notablemente en el tiempo, sin mostrar signos de que este crecimiento disminuirá en el futuro. En consecuencia, se hace necesario un esfuerzo continuo de

búsqueda y desarrollo de materiales más resistentes, que mejoren las características de las carreteras, alarguen su período de servicio y disminuyan los costos de conservación. Actualmente, los asfaltos modificados han mostrado plenamente su capacidad para mejorar el comportamiento de los ligantes convencionales

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

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. El tipo de mezcla será el que, en gran medida, determine la contribución hecha por el asfalto sobre todo el conjunto. Generalmente, las propiedades de las mezclas con granulometría continua dependen del enclavamiento o trabazón del agregado pétreo, mientras que las preparadas con altos contenidos de mortero asfáltico dependen más de la rigidez de la proporción de asfalto, polvo mineral y arena.

A altas temperaturas de servicio, puede que el asfalto llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento, Fig. 6). El riesgo de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados. De manera generalizada y sin tener en cuenta otros factores que pueden influir, se puede disminuir la probabilidad de aparición de estas deformaciones aumentando la rigidez del ligante mediante el empleo de un asfalto más duro.

Figura 6 tipos de deformaciones según el tipo de asfaltos



Por otro lado a temperaturas de servicios bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la fisuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las sollicitaciones inducidas por el tráfico. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad.

Entonces, debido a lo dicho anteriormente, a la hora de buscar comportamientos globales satisfactorios de las mezclas bituminosas, la elección del asfalto adecuado para cada tipo de mezclas se vuelve un compromiso entre ambos extremos; ahuellamiento a altas temperaturas y fisuramiento por fragilidad térmica a bajas temperaturas. Donde mejorando el comportamiento a altas temperaturas, se influye negativamente en el comportamiento a bajas temperaturas con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre al material pétreo y el material asfáltico, conservándola aún en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reduce el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de

mezclarlo con el material pétreo. Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos según las Normas de clasificación de la SCT son:

2.5.2. TIPOS DE POLÍMEROS

2.5.2.1. POLÍMERO TIPO I

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, de polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

2.5.2.2. POLÍMERO TIPO III

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de estireno, butadieno-látex, o neopreno-látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

2.5.2.3. POLÍMERO TIPO III

Es un modificador de asfalto que mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o Polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE), entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales pavimentos con elevados índices de tránsito, **así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.**

2.6. DISEÑO DE MEZCLAS

2.6.1. INTRODUCCIÓN

El diseño de mezclas asfálticas, así como el diseño de otros materiales de ingeniería, consiste principalmente en seleccionar y hacer proporciones de los componentes, para obtener las propiedades deseadas o especificadas en la construcción. El objetivo general para el diseño de mezclas asfálticas, es el determinar cada componente de la mezcla asfáltica, y el asfalto que resulte en una mezcla económica que tenga:

- Suficiente asfalto para asegurar durabilidad.
- Suficiente estabilidad para satisfacer las demandas de tráfico sin distorsión o desplazamientos.
- Suficiente manejabilidad para permitir la colocación de la mezcla sin segregación.
- Los materiales propuestos a usarse satisfagan los requisitos de las especificaciones del proyecto.
- Las combinaciones de agregados satisfagan la granulometría requerida en las especificaciones.
- Las gravedades específicas de masa de todos los agregados usados y la gravedad específica del asfalto sean determinados para poderse usar en los análisis de densidad y vacíos.

Estos requerimientos son materia de pruebas de rutina, especificaciones y técnicas de laboratorio que deben ser considerados, pero que no son técnicas para cualquier método de diseño en particular. Por lo que existen varios Métodos de Diseño de Mezclas, en nuestro caso solo hablaremos del método MARSHALL que por su accesibilidad a los equipos y por ser el más usado en el país.

2.6.2. MÉTODO MARSHALL

Los conceptos originales para el Diseño Marshall fueron desarrollados por Bruce Marshall del Departamento de Caminos del Estado de Mississippi, y rediseñado por El Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estado Unidos en los años 40. Después se hicieron avances y el desarrollo de especificaciones de materiales por organizaciones como el Cuerpo de Ingenieros y el Instituto del Asfalto.

Como cualquier otro método de diseño de pavimentos, el punto de partida es obtener muestras de materiales representativos de aquellos que serán usados para el proyecto. Este método usa unas muestras estándar de 2 ½ pulgadas de alto y 4 pulgadas de diámetro. Estos se preparan usando un procedimiento específico para calentamiento, mezclado y compactado de las mezclas de agregado y asfalto. Las dos características principales del método de Marshall, son las de análisis de densidad y vacíos en la mezcla y los resultados de estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

CAPITULO III

MODULO RESILIENTE DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

El diseño de pavimentos flexibles, mayoritariamente, se basa en la **teoría elástica de capas**. La teoría elástica de capas, requiere 2 parámetros elásticos para caracterizar cada capa de material:

- **Módulo elástico (rigidez), E**
- **Razón de Poisson, ν**

El parámetro de rigidez más utilizado para MA en diseños empírico mecanicistas, ha sido el *módulo dinámico E^** .

Es más, E^* fue seleccionado como el parámetro requerido para calcular *esfuerzos y deformaciones* en la nueva *Guía de Diseño Empírico Mecanicista AASHTO* (MEPDG).

Además, los esfuerzos y deformaciones se usan en la *predicción de los deterioros E^** ha reemplazado al ensayo de M_r en MA, para el diseño de pavimentos.

E^* es un número complejo que relaciona *esfuerzo/deformación* en materiales *viscoelástico-lineales* sometidos a *cargas cíclicas* continuas (sinusoidales “haversine”).

Las MA se consideran *materiales viscoelástico-lineales* bajo pequeños niveles de deformación.

3.1. INTRODUCCIÓN

Los materiales que constituyen la mezcla asfáltica se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tráfico. Con el fin de tener en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman una estructura de la mezcla asfáltica, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales, se han realizado en el mundo varios trabajos experimentales, tanto en modelos a escala natural como en muestras de material probadas en el laboratorio,

obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales.

Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y suele denominarse plásticas a aquéllas que permanecen en el pavimento después de cesar la carga.

Bajo carga móvil la deformación permanente se va acumulando y para ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales. La muestra llega así a un estado tal en que toda la deformación es recuperable, en ese momento se tiene un comportamiento resiliente. De aquí se desprende el concepto de módulo resiliente, el cual está definido como el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable.

Así pues, el concepto de módulo resiliente está ligado invariablemente a un proceso de carga repetida.

Como se ha observado en los estudios llevados a cabo sobre módulo resiliente, este parámetro no es una propiedad constante del material, sino que depende de muchos factores. Los principales son: número de aplicaciones del esfuerzo, tixotropía, magnitud del esfuerzo desviador, método de compactación y condiciones de compactación.

La metodología actual para diseño de pavimentos utilizada por el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales constitutivos de la sección de una carretera es el parámetro denominado módulo resiliente.

Es por ello que el especialista encargado del diseño, construcción y conservación de tales estructuras, debe de tener el conocimiento básico de lo que el parámetro módulo resiliente representa, de la prueba de laboratorio a partir de la cual se obtiene y de los factores que hay que considerar para la selección del valor adecuado para su uso en una determinada metodología de diseño.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA SOLICITACIÓN EN PAVIMENTOS

El patrón de esfuerzos inducidos a una estructura de pavimento como resultado del tráfico de vehículos es muy complejo. Un elemento de pavimento está sujeto a pulsos de carga que involucran componentes de esfuerzos normales y cortantes.

En laboratorio se realizan pruebas triaxiales simulando la condición tratando de simular las condiciones más desfavorables. Durante las pruebas debe aplicarse una presión de confinamiento que varíe con el esfuerzo desviador; sin embargo es difícil simular en laboratorio este cambio, por lo que la presión de confinamiento se mantiene constante y el esfuerzo desviador es el que se aplica en forma repetida.

Estados de esfuerzos:

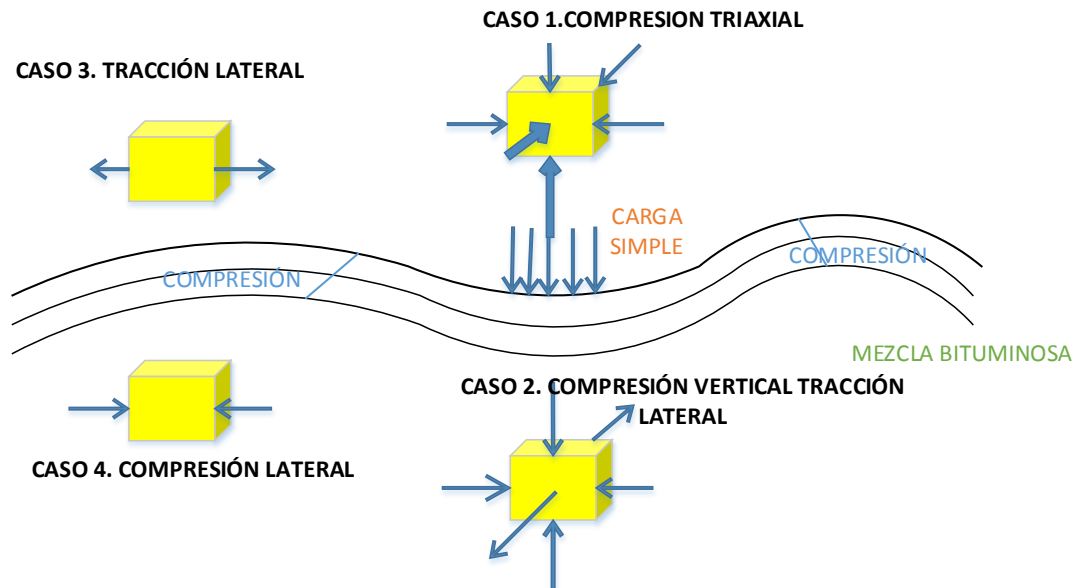
- 1.- Compresión triaxial en la superficie e inmediatamente bajo la rueda.
- 2.- Tracción longitudinal y transversal combinado con compresión vertical en la parte inferior de la capa asfáltica debajo de la rueda.
- 3.- Tracción longitudinal o transversal en la superficie a una cierta distancia de la carga.
- 4.- Compresión longitudinal o transversal en el fondo de la capa asfáltica a una cierta distancia de la carga.

Existen ensayos que representan alguno de estos cuatro estados, pero no hay uno que reúna todos.

Sin embargo, tampoco es necesario analizar todas las situaciones, pues la experiencia ya ha determinado que la zona más crítica de tensiones se produce en la fibra inferior de la capa asfáltica, bajo la carga.

El ensayo de tracción indirecta con carga repetida (módulo resiliente) reproduce este estado de tensión crítica para una mezcla asfáltica y la utilización de este ensayo para este trabajo, determina las características necesarias para determinar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas compactadas a diferentes temperaturas.

Figura 1 ESTADO DE ESFUERZOS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA



Fuente: elaboración propia a partir del documento del instituto del asfalto

3.3. MECANISMO DE DEFORMACIÓN DE UN MATERIAL SUJETO A CARGA CÍCLICA

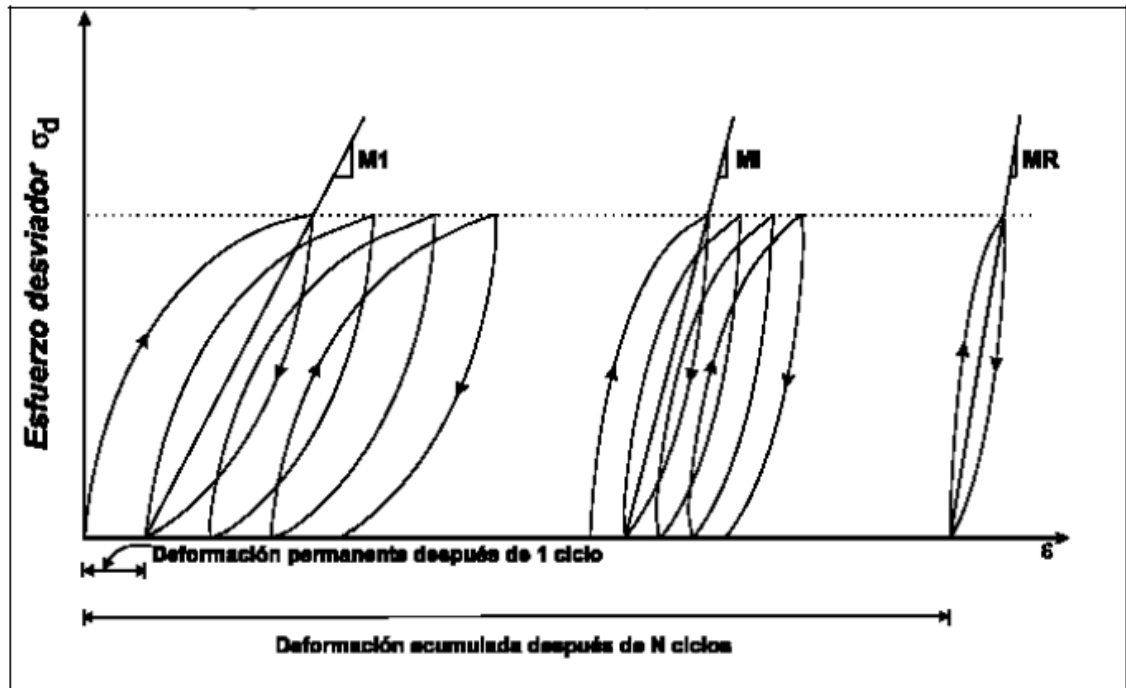
De acuerdo con el diseño de una mezcla asfáltica, el tipo y la magnitud de las solicitaciones, repeticiones de carga acumuladas, características asociadas al clima y la localización de las diferentes capas de material; el comportamiento esfuerzo deformación de una mezcla asfáltica puede ser de dos tipos: **resiliente y plástico**.

Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles. Paradójicamente, este proceso suele ir acompañado de una “densificación” de los materiales, de manera que el pavimento fallado puede ser más resistente que el original.

En la Figura 8 se ilustra el mecanismo por el cual la deformación permanente se va acumulando; debe hacerse notar el hecho de que en los ciclos intermedios la

deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales.

figura 2 mecanismos de deformación permanente en los firmes



Fuente: documento técnico del Instituto del asfalto

La muestra de pavimento llega así a un estado tal en que toda la deformación es recuperable, en ese momento se tiene un comportamiento resiliente (en donde el módulo secante es igual al módulo resiliente).

En la Figura 8 se muestra la acumulación de las deformaciones total y plástica durante un cierto número de ciclos.

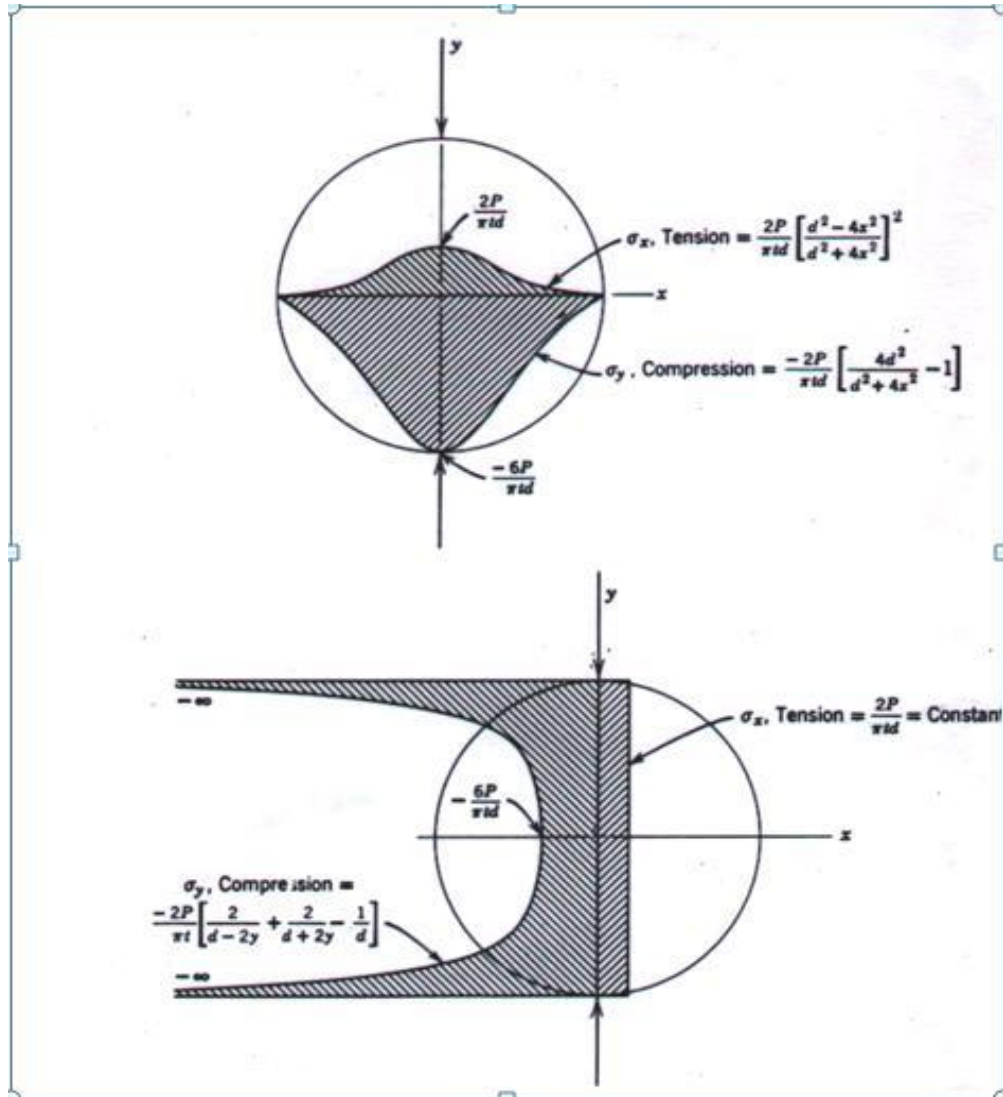
La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en materiales con resistencia a la tensión -carpetas asfálticas o capas estabilizadas- colocados en la parte superior de la estructura, en los que se puede llegar a generar una falla de agrietamiento por fatiga si el número de repeticiones es importante y los materiales son susceptibles a este efecto.

La importancia que la deformación tiene en los pavimentos es debida a que en los métodos de diseño actuales la deformabilidad es el punto básico a considerar y, de hecho, la mayoría de ellos se centran en mantenerla en límites razonables.

En el diseño de pavimentos por métodos semi-empíricos como AASHTO 1993, o en el caso de utilizar métodos mecanicistas como AASHTO 2002, se requiere del módulo elástico de la mezcla asfáltica bajo ciertas condiciones de temperatura y frecuencia de carga.

Tanto el ensayo Marshall como la llamada «Prueba Brasileña» someten a la briqueta de mezcla asfáltica compactada a una carga a tracción indirecta. Frotch (1957), citado por los autores Yoder y Witzarck, encontró las ecuaciones de distribución de esfuerzos a lo largo del diámetro de una briqueta cilíndrica cargada verticalmente de canto, para los casos de medición del ensanchamiento horizontal (tracción indirecta), como el caso del achatamiento vertical (más parecido al caso de carga Marshall).

figura 3 distribución de esfuerzos en prueba de compresión diametral



Fuente: documento técnico del instituto del asfalto

Nota: En realidad, en el caso de carga Marshall la carga vertical se distribuye, de forma desconocida, a lo largo del área de la mordaza, figura 4 pero para el caso de esta solución asumiremos que es vertical. El caso de carga con marco Lottman es más parecido a la idealización de la figura 9-1.

El dibujo de arriba en la figura 9-1, en la que se mide el ensanchamiento horizontal, se ve que las funciones de distribución de esfuerzo, tanto la vertical como la horizontal, en la briqueta son continuas en el diámetro, y su integración produciría una fórmula cerrada del módulo elástico; como de hecho existe la fórmula que se utiliza en los ensayos que miden módulo elástico en esta condición de carga (módulo resiliente).

En cambio, el dibujo de abajo en la figura 9-2, correspondiente a la medición del achatamiento vertical, presenta una distribución de esfuerzos de tensión discontinua, que al intentar integrar para resolver el módulo, resultaría en una indeterminación.

Para resolver esto se me ocurrió un artilugio matemático que requiere cálculo y medición en laboratorio, es decir, es una solución semi-empírica. A continuación lo explico en detalle.

Según Frocht, las ecuaciones para la distribución de esfuerzos en la briqueta son las siguientes:

Caso diametral horizontal (medición de ensanchamiento horizontal):

$$\sigma_x = \frac{2*P}{\pi*t*d} * \left[\frac{d^2-4*x^2}{d^2+4*x^2} \right]^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_y = -\frac{2*P}{\pi*t*d} * \left[\frac{4*d^2}{(d^2+4*x^2)} - 1 \right] \dots\dots (2)$$

$$\tau_{xy} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

Caso diametral vertical (achatamiento vertical):

$$\sigma_x = \frac{2*P}{\pi*t*d} = \text{constante} \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma_y = -\frac{2*P}{\pi*t} * \left[\frac{2}{d-2*y} + \frac{2}{d+2*y} - \frac{1}{d} \right] \dots\dots\dots (5)$$

$$\tau_{xy} = 0 \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

P: carga aplicada

t: espesor del espécimen

d: diámetro del espécimen

x,y: valores de coordenadas desde el centro del espécimen

Para obtener el módulo elástico en el caso de medición de ensanchamiento horizontal (v.g. módulo resiliente) se integran las expresiones como sigue:

Suponiendo que el material es idealmente elástico y homogéneo, y asumiendo una condición de esfuerzo plano ($s_z = 0$), la deformación unitaria resultante, E_x , viene dada por:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} * [\sigma_x - \nu * \sigma_y] \dots \dots \dots (7)$$

Sustituyendo las ecuaciones (1) y (2) en la expresión anterior resulta:

$$\sigma_x = \frac{2*P}{E*\pi*t*d} * \left[\frac{d^2*(1+3*\nu)-8*d^2*x^2*(1-\nu)+16*x^2*(1-\nu)}{(d^2+4*x^2)^2} \right] \dots \dots \dots (8)$$

La deformación a través del eje diametral horizontal ($y = 0$) se puede encontrar integrando la ecuación (8) entre $x = -d/2$ y $x = d/2$. Esto resulta en que la deformación horizontal es igual a:

$$\delta_h = \frac{P}{t*E} * [0.274 + 1.36 * \nu] \dots \dots \dots (9)$$

En consecuencia, para una carga aplicada, P , ya sea monótonica o dinámica, con medición de la deformación horizontal, d_h , el módulo de Elasticidad, E , asociado vale:

$$E = \frac{P*(1.36*\nu+0.274)}{t*\delta_h} \dots \dots \dots (10)$$

Esta fórmula se utiliza comúnmente para calcular el módulo de Elasticidad en carga monótonica, o el módulo de Elasticidad en carga cíclica, comúnmente llamado módulo de recuperación o por el anglicismo «resiliente». Un valor común para la relación de Poisson (ν) para materiales asfálticos es 0.35.

Ahora bien, se puede también obtener una expresión analítica para el módulo de Elasticidad cuando se registra la deformación vertical (i.e., flujo) durante el proceso de

carga, como es el caso de la prueba con marco Marshall, o con marco de tracción indirecta Lottman.

Suponiendo igualmente que el material es idealmente elástico y homogéneo, y asumiendo una condición de esfuerzo plano ($s_z = 0$), la deformación unitaria resultante, e_y , viene dada por:

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} * [\sigma_y - \nu * \sigma_x] \dots \dots \dots (11)$$

Sustituyendo las ecuaciones (4) y (5) en la expresión anterior se tiene:

$$\varepsilon_y = -\frac{2*P}{\pi*t*E} * \left[\frac{2}{d-2*y} + \frac{2}{d+2*y} - \frac{(1-\nu)}{d} \right] \dots \dots \dots (12)$$

La deformación a través del eje diametral vertical ($x = 0$) se puede encontrar integrando la ecuación (12) entre $y = -d/2$ y $y = d/2$. Esto resulta en que la deformación vertical, o flujo, es igual a:

$$\delta_v = -\frac{4*P}{E*\pi*t} * 0 \left\{ \int_0^{d/2} \frac{2*dy}{d-2*y} + \int_0^{d/2} \frac{2*dy}{d+2*y} - \int_0^{d/2} (1-\nu) * \frac{dy}{d} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

De todas estas integrales la primera lleva a una indeterminación cuando el resultado es evaluado en $d/2$, no obstante, como el ensayo con los marcos Marshall o Lotmann no resultan precisamente en una carga concentrada sino más bien distribuida, se podría proponer que el esfuerzo s_y (ecuación 5) tiende a un valor finito cuando es evaluado en $d/2$, es decir, que la primera integral puede ser definida y tiene un valor constante. Atendiendo a esta suposición, luego de ser evaluada, la expresión (13) se puede escribirse de esta manera:

$$\delta_v = -\frac{1.273*P}{E*t} * (a + 0.5 * \nu) \dots \dots \dots (14)$$

O bien, expresando el módulo de Elasticidad:

$$E = -\frac{1.273*P}{\delta_h*t} * (a + 0.5 * \nu) \dots \dots \dots (15)$$

3.4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL COMPORTAMIENTO DEL MODULO RESILIENTE

3.4.1. CONTROL DE CALIDAD EN LA PUESTA EN OBRA

Las etapas incluidas en la puesta en obra de la mezcla asfáltica son el transporte de la misma, su extensión sobre la superficie preparada y su compactación.

Durante el transporte, debe cuidarse que los camiones lleven protegida la mezcla con una lona, ya que es importantísimo que la temperatura de la mezcla disminuya lo menos posible.

Así como que los tiempos entre descarga, extensión y compactación sea lo más corto posible, para evitar el enfriamiento de la mezcla.

La preparación de la superficie existente exige que se compruebe la regularidad superficial. Si la superficie está constituida por una mezcla asfáltica, se debe ejecutar un riego de adherencia, si es granular o tratado con aglomerantes hidráulicos, se ejecuta un riego de imprimación.

Se toman las medidas de control correspondientes al riego aplicado: verificar el plazo de rotura o de curado del mismo, que no queden restos de fluidificante o de agua en la superficie y que mantenga su capacidad de adherencia si ha transcurrido mucho tiempo desde su aplicación.

3.4.2. TRANSPORTE

Es la etapa en que la mezcla se traslada de la central de la fabricación a la extendedora, por medio de camiones. Es inevitable el enfriamiento de la mezcla por efecto de la temperatura ambiente y del viento. Sin embargo, este efecto se reduce colocando una lona sobre la caja de camión logrando que solo se enfríe la zona superficial, aunque se debe evaluar las zonas climáticas de cada caso para determinar las distancias máximas posibles. Debe verificarse que la temperatura de la mezcla en el momento de la descarga no sea inferior a la especificada en la fórmula de trabajo.

Es importante evitar la segregación de la mezcla durante la carga y la descarga de los camiones, y para ello se debe mantener una altura mínima de descarga y evitar la formación de pilas cónicas de material, haciendo que el camión se mueva lentamente o esparciendo la mezcla lateralmente en la caja.

3.4.3. EXTENSIÓN

Normalmente el camión descarga la mezcla sobre la tolva de una extendedora y ésta se distribuye sobre la superficie a través de cintas y compuertas que regulan la salida del material.

La extensión habitualmente se realiza en franjas longitudinales, calculando el ancho de las franjas de modo tal que se realice el menor número de juntas posibles.

La extendedora se regula para que la capa extendida resulte lisa y uniforme sin segregaciones ni arrastres y con un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la rasante y a la sección transversal indicada en los planos con las tolerancias admitidas.

3.4.4. COMPACTACIÓN

Una vez extendida la mezcla pasan los compactadores, que pueden ser neumáticos, lisos, con o sin vibración, y se eligen en función del tipo y espesor de la mezcla. Se propone un plan de compactación que debe ser aprobado por el director de la obra, de acuerdo a los resultados de un tramo de prueba.

En esta oportunidad el director puede ordenar o modificar la fórmula de trabajo, cambiar la forma de empleo de algún equipamiento o reemplazo.

Durante la compactación se espera que la mezcla sea compactada a la temperatura que se estableció de trabajo anteriormente en laboratorio, para que la mezcla asfáltica ya colocada tenga las propiedades mecánicas que se esperan de ella.

El Instituto del Asfalto recomienda un rango de temperatura para compactar entre 163° C – 85° C, pero recomienda que se deberá iniciar la compactación a la temperatura establecida en laboratorio.

Así mismo las especificaciones establecen que no deberá continuarse la compactación cuando la mezcla alcance una temperatura inferior a 79° C.

Como se puede observar el rango de temperatura en el que se debe de compactar es muy amplio, la cual no asegura el comportamiento óptimo de la mezcla; es por ello, que en este trabajo se demostrará la importancia que tiene la temperatura de compactación en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica.

Para poder conseguir la densidad necesaria que suele expresarse como un porcentaje de la densidad Marshall de referencia, es de suma importancia que la temperatura de la mezcla se mantenga elevada, para que sea posible su densificación, y que la mezcla adquiera sus propiedades mecánicas adecuadas.

La compactación debe realizarse de manera continua y sistemática, si la mezcla ha sido extendida en franjas, al compactador cada una de éstas se debe superponer la zona de compactación al menos quince centímetros.

Debe mantenerse limpios los elementos de compactación y en lo posible húmedos. Los cambios de dirección de los compactadores deben hacerse sobre la superficie ya compactada y los cambios de sentido se hacen con mucha suavidad.

3.4.5. CONTROL DE CALIDAD

El control del producto terminado se lleva a cabo sobre el espesor, el acabado y la compactación de la mezcla, evaluando las tres características por las capas aisladas y por lotes:

- a) Espesor: se extraen testigos aleatoriamente situados y se determina su espesor. La empresa puede realizar un control previo comprobando el espesor con un vástago graduado, inmediatamente detrás de los compactadores cuando la capa aún está caliente. Siempre que la capa inferior este bien definida y sea resistente al punzonamiento, este método permite realizar muchas mediciones.
- b) Regularidad superficial: el acabado se realiza generalmente con un equipo para medir índice de perfil.

- c) Compacidad: La compacidad de la capa se evalúa comparando la densidad de un testigo extraído con la de una probeta de referencia. En mezclas densas, la densidad media del lote no deberá ser inferior al 95% de la densidad promedio de las briquetas elaboradas en el laboratorio.

3.5. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS SEGÚN NORMATIVAS PARA LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN

El módulo elástico es un parámetro importante que se utiliza en el diseño mecanicista del pavimento a medida que se utiliza como una entrada a las teorías elásticas de elementos finitos de modelos para calcular la respuesta de pavimento bajo carga de tráfico. Estas respuestas se pueden utilizar a través de las funciones de transferencia para calcular el espesor óptimo diseño para el nuevo pavimento o al estimar la vida residual del pavimento existente. Esto hace que el módulo resiliente sea uno de los parámetros más importantes en el diseño de pavimentos y análisis del mismo.

Debido a la simplicidad y facilidad de aplicación a prueba de laboratorio ejemplar y campo compactados núcleos, el ensayo de tracción indirecta es la prueba de carga repetida más común para medir el elástico módulo de mezcla bituminosa. Esto implica la preparación de un asfalto compactado y sometido a cargas repetidas diametrales. Esta prueba ha sido estandarizada como el australiano norma AS 2891.13.1-1995. Sin embargo, hay una gran cantidad de factores que afectan módulo resiliente de asfalto sometido a ensayo de tracción indirecta. Estos incluyen los factores geométricos de la prueba especímenes, tamaño nominal máximo de los agregados, las formas de onda de carga y duraciones de pulso aplicado a las muestras de ensayo, la medición de la deformación preestablecida que es que se reunió durante la prueba, y el tipo de compactación de la muestra de ensayo. Esta investigación es el estudio de los efectos de estos factores, sus interacciones y su significación en el módulo resiliente a través de un fraccional diseño factorial de experimentos.

3.5.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA COMPACTACIÓN DE ASFALTO

Principios

Los Asfaltos de la capa de rodadura se dividen en cursos básicos, capas de aglutinante de asfalto y capas de asfalto.

Hormigón de asfalto, piedra asfalto fundido y asfaltos porosos se utilizan para los capas de asfalto.

La mezcla establecida debe compactarse en un grado tal que se consigue un aumento de la densidad o una reducción de la porosidad en la capa de asfalto. En esta vacíos de aire hay que asegurarse de que se alcance el grado exigido de compactación y que los valores límite del contenido de vacíos se cumplan.

Esto se traduce en una mayor estabilidad de las capas y por lo tanto en una mayor resistencia contra la deformación.

Una Buena compactación también tiene un efecto positivo en la resistencia al desgaste de la capa de rodadura.

3.5.2. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Compactación inicial con el terminador

Con una baja pre-compactación por el terminador el uso de un rodillo de luz para presionar inicialmente por la mezcla es una decisión muy sensata, un rodillo demasiado pesado puede afectar negativamente a la uniformidad de la capa y, dependiendo de la estabilidad de la mezcla en caliente, puede causar desplazamientos no deseados y extravíos en el material.

Los rodillos tándem vibratorios deben conducir los dos primeros pases sin haber vibraciones.

Buena compactación inicial por la acabadora tiene un favorable efecto sobre la uniformidad de la capa y, al mismo tiempo, permite un comienzo temprano de la compactación, mientras las temperaturas de mezcla siguen siendo altos. Este factor favorable apoya el efecto de compactación de los rodillos, y la compactación final se puede lograr con sólo unos pocos pasos de los rodillos.

figura 10 Compactación inicial por la acabadora



Fuente: Basic Principles of Asphalt Compaction. BOMAG GmbH, Fayat Group, Germany, all rights reserved

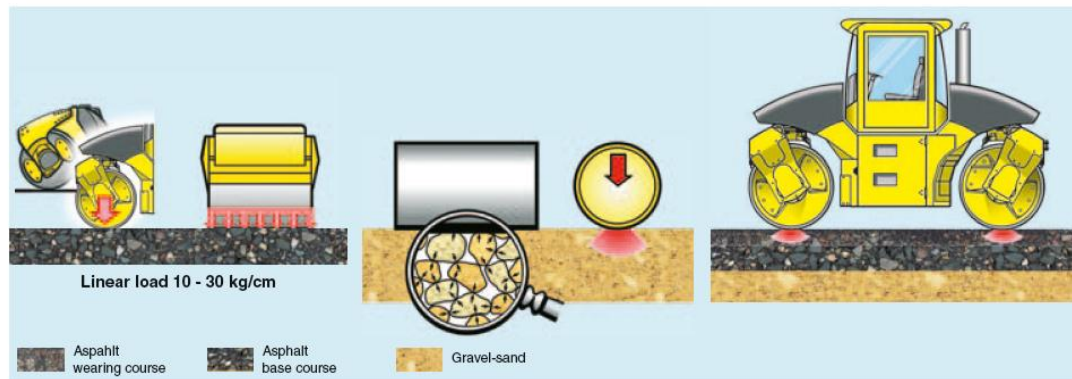
3.5.3. COMPACTACIÓN ESTÁTICA

Compactación estática se consigue por el peso muerto de los rodillos roller. Tandem y compactadores de neumáticos se utilizan para este propósito. En comparación con vibratoria compactación el efecto de compactación es relativamente bajo.

Con rodillos tándem de compactación está influenciada por la carga estática lineal (kg / cm²) del tambor, con neumáticos rodillos cansados por la carga de la rueda (t) y el inflado de los neumáticos presión (MPa).

La compactación estática con rodillos tándem tiene sentido si la compactación inicial por la acabadora fue sólo bajo, si la mezcla asfáltica es fácil de compactar, en caso de asfaltos porosos y capas delgadas y en el planchado.

figura 10 La compactación estática con rodillos tándem



Fuente: Basic Principles of Asphalt Compaction. BOMAG GmbH, Fayat Group, Germany, all rights reserved

Con el efecto de amasado y la flexión de las ruedas de sus compactadores de neumáticos alcanzan una calidad especial en La compactación estática. Conduce a una homogénea distribución de la mezcla y cierra los poros en la superficie. Las principales áreas de aplicación son la preprofilado y el procesamiento fácil mezclas compactas y el acabado de las superficies de desgaste. Aquí el rodillo neumático se combina normalmente con un suave tambor de cilindros.

3.5.4. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA

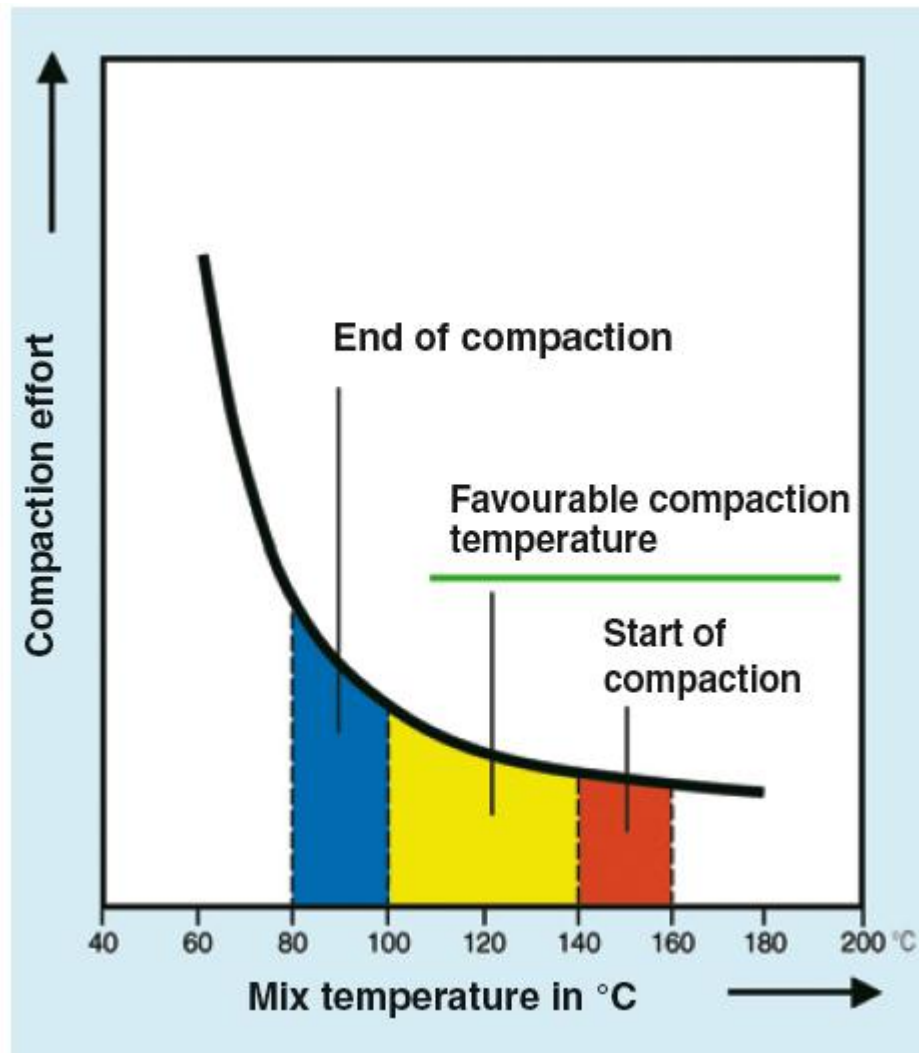
La temperatura de la mezcla durante la compactación es de gran importancia para el esfuerzo de compactación requerida.

Con temperaturas demasiado altas mezcla de la compactación por un rodillo está soportado por la baja viscosidad del betún. La actuación del betún como un lubricante reduce la fricción interna en la mezcla mineral.

Debido a la rigidez progresiva del betún causada por el enfriamiento, el esfuerzo La compactación aumenta considerablemente a bajas temperaturas.

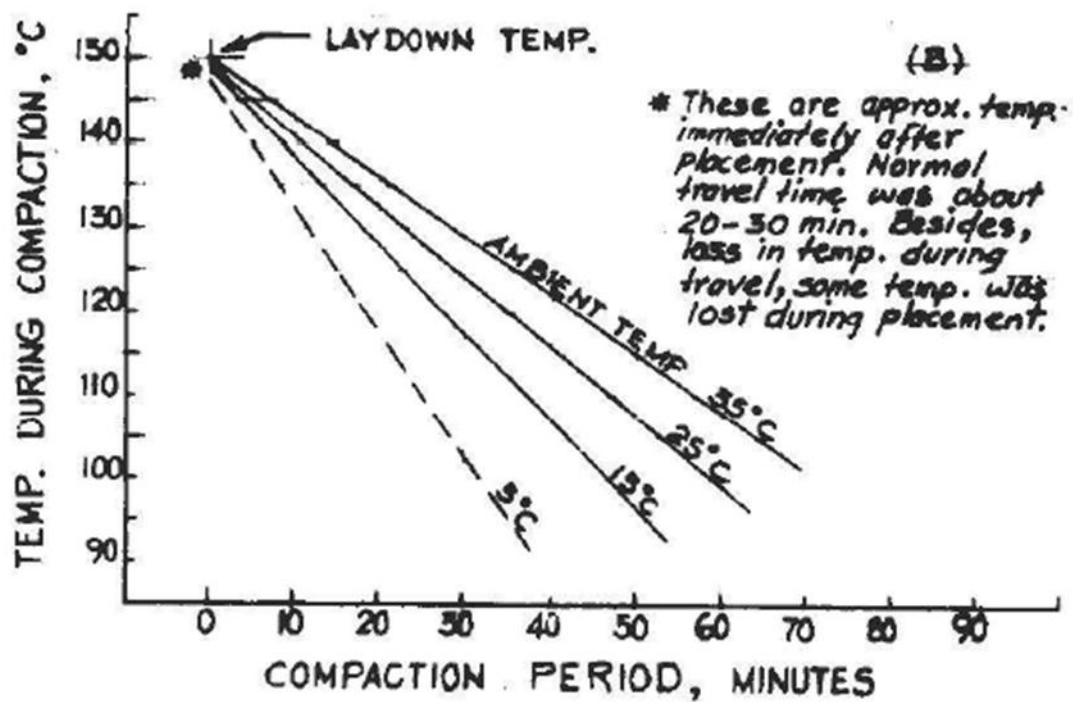
Compactación, por lo tanto debería, por regla general, debe iniciarse tan pronto como sea posible. Compactación temperaturas entre 100 ° y 140 ° C han sido encontrado más favorables para el betún de tipos convencionales. La compactación debe ser completado cuando la temperatura ha bajado a entre 80 ° y 100 ° C.

figura 11 Recomendaciones del instituto del asfalto para una buena temperatura optima de compactación



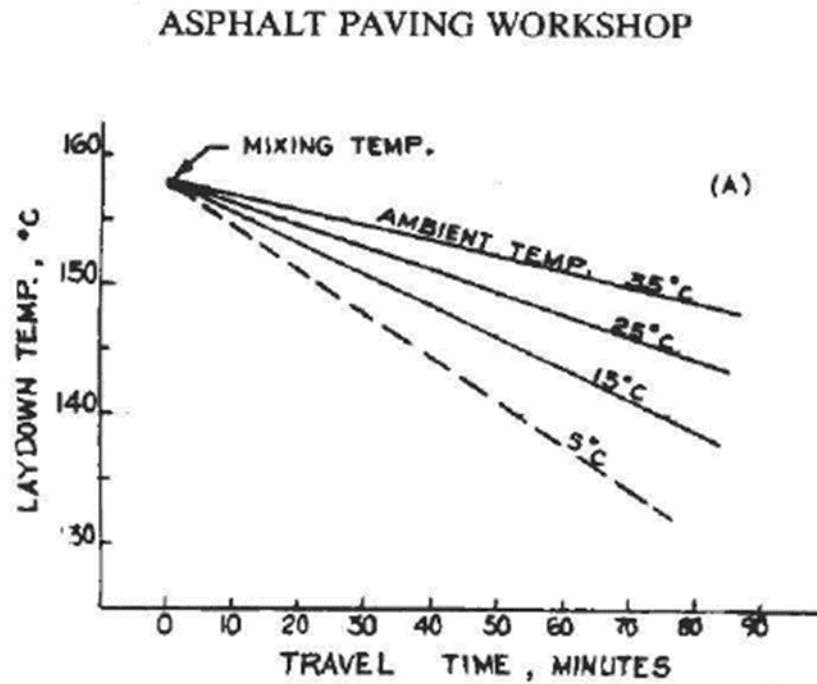
Fuente: *Basic Principles of Asphalt Compaction. BOMAG GmbH, Fayat Group, Germany, all rights reserved*

figura 12 Tiempo de compactación óptima para una excelente compactación de una mezcla asfáltica



Fuente; instituto del asfalto revista educativa II

figura 13 Tiempo de compactación óptima para una excelente compactación de una mezcla asfáltica



Fuente; instituto del asfalto revista educativa II

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DEL MODULO RESILIENTE EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN

4.1. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.-

Básicamente los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones que mencionamos anteriormente. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes; Además de tener una disponibilidad.

El material pétreo utilizado está ubicado en la comunidad de San José de Charaja, donde se encuentra ubicada una chancadora para la provisión de material para el Servicio Departamental De Caminos (SEDECA), siendo los mismos analizados en laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

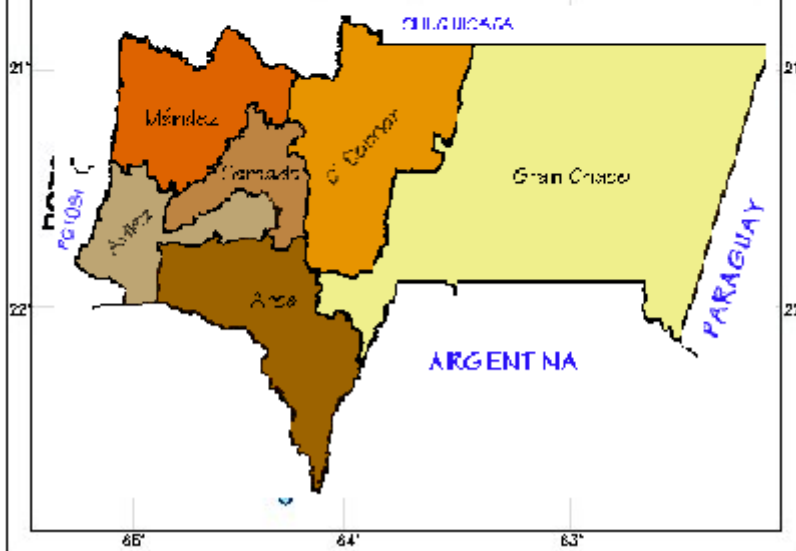


TARIJA MAPA POLITICO



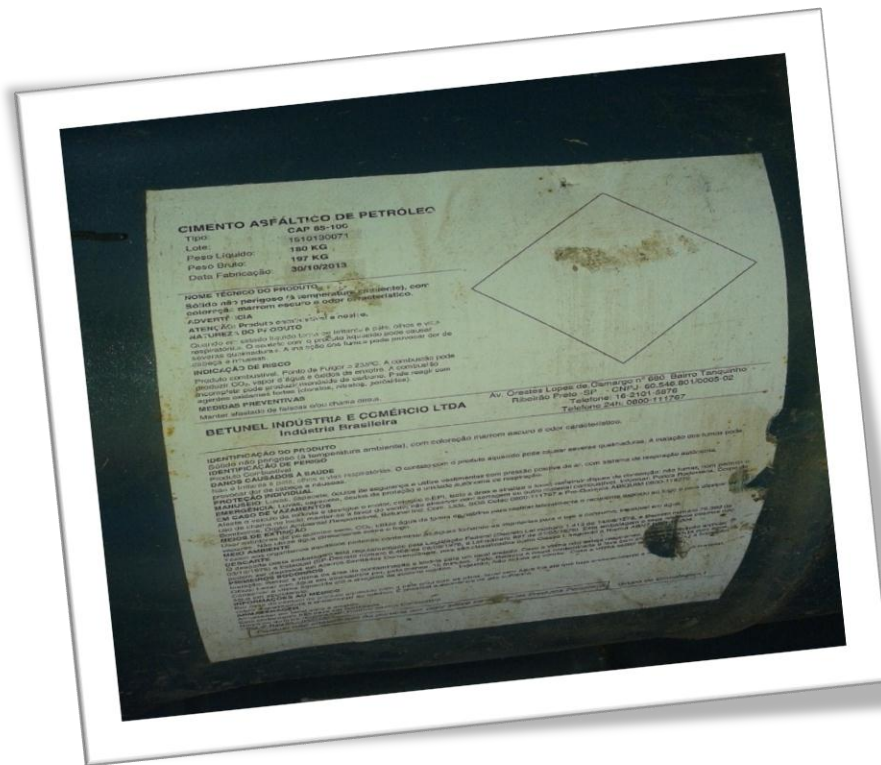
REFERENCIAS

LIMITE INTERNACIONAL	-----
LIMITE DEPARTAMENTAL	- - - - -
LIMITE PROVINCIAL	-----
CAPITAL DE DEPARTAMENTO	⊙
CAPITAL 1ª SECCION	•
CAPITAL 2ª SECCION	•
OTRAS POBLACIONES	•





Con el fin de hacer un análisis investigativo del tema y analizar el comportamiento de los materiales se ha empleado cemento asfáltico con las siguientes características: C.A. 85-100 BETUNEL DE PROCEDENCIA BRASILEIRA Y EL ASFALTO MODIFICADO BETUFLEX 60-85 TAMBIEN DE PROCEDENCIA BRASILEIRA, el primero es además utilizado en la producción de capa de rodadura en el proyecto TOMATITAS-ERQUIZ-CRUCÉ CADILLAR por el Servicio Departamental De Caminos(SEDECA).




CEMENTO ASFALTICO BETUNEL



CEMENTO ASFALTICO BETUFLEX

Como se va a observar más adelante la característica del cemento asfaltico debe cumplir con requisitos mínimos según la normativa que se esté usando al igual que el agregado pétreo a continuación se observan los cálculos de caracterización de del cemento asfaltico y del agregado los procedimientos para cada ensayo realizado se encuentran en los anexos.

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAE SARACHO		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA		
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARIFA-BOLVIA)		
CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO			
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS N			
ASFALTO : PROCEDENCIA BRASIL	MUESTRA N°:	FECHA: 28 DE SEPTIEMBRE DE 2014	
		LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO	

CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO

ASFALTO BETUNEL 85-100

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Peso Pícnómetro	grs.	87,2	87,3				
Peso Pícnómetro + Agua (25°C)	grs.	168,5	168,1				
Peso Pícnómetro + Muestra	grs.	150	163,0				
Peso Pícnómetro + Agua + Muestra	grs.	169,1	168,8				
Peso Específico	grs./cm ³	1,007	1,006		1,007	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>251	>255	>260	>255	>232	
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	120	125	128	124	75	
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura Nº1	86	90	95			
	Lectura Nº2	86	80	93			
	Lectura Nº3	88	89	95			
	Promedio	mm.	86,7	86,3	94,3	89,1	85
Viscosidad Saybolt 135 °C AASHTO	seg.	84,0	100,0	91,0	91,7	85	
Ensayo de la mancha					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente gasolina standart					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente gasolina-xilol, % xilol					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente heptano-xilol, % xilol					No se realizó	NEGATIVO	
Ensayo de película delgada en horno					No se realizó		
* Pérdida en masa	%				No se realizó		
* Penetración del residuo, penetración	%				No se realizó	47	
Indice de susceptibilidad térmica					No se realizó	-1	1
Punto de ablandamiento	°C	48,0	49,0	47,0	48	43	53

Ing. Adolfo Molina

RESP. DE LAB. DE ASFALTOS UAJMS

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA	
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN	
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARJ A-BOLIVIA)	
CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS M		
ASFALTO : PROCEDENCIA BRASIL	MUESTRA N°:	FECHA: 28 DE SEPTIEMBRE DE 2014
		LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO

CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO

ASFALTO BETUFLEX 60-85 ASFALTO MODIFICADO

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Peso Pícnómetro	grs.	87,2	87,3				
Peso Pícnómetro + Agua (25°C)	grs.	168,5	168,1				
Peso Pícnómetro + Muestra	grs.	155,23	159,3				
Peso Pícnómetro + Agua + Muestra	grs.	168,1	169,5				
Peso Específico	grs./cm3	0,991	1,017		1,004	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>260	>270	>265	>265	>232	
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	150	145	140	145	75	
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura Nº1	63	63				
	Lectura Nº2	56	66				
	Lectura Nº3	59	65				
	Promedio	mm.	59,3	67,0		63,2	85
Viscosidad Saybolt 135 °C AASHTO	seg.				No se realizo		
Ensayo de la mancha					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente gasolina standart					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente gasolina-xilol, % xilol					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente heptano-xilol, % xilol					No se realizo	NEGATIVO	
Ensayo de película delgada en horno					No se realizo		
* Pérdida en masa	%				No se realizo		
* Penetración del residuo, penetració	%				No se realizo	47	
Indice de susceptibilidad térmica					No se realizo	-1	1
Punto de ablandamiento	°C	59,0	63,0	60,0	61	>60	

Ing. Adolfo Molina

RESP. DE LAB. DE ASFALTOS UAJMS


	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA		
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARJA-BOLIVIA)		
ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ANGELES ASTM C-131			
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MAC			
AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA		MUESTRA N°:	FECHA: 28/AGOSTO DE 2014
			LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO

TABLA ASTM C-131 SEGÚN EL TAMAÑO DE MATERIAL QUE SE TENGA

METODO		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		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


DATOS DE LABORATORIO

METODO A		METODO B		METODO C		METODO D	
TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO
1"	1250	1/2"	2500	1/4"	2500	Nº8	5000
3/4"	1250	3/8"	2500	Nº	2500		
1/2"	1250						
3/8"	1250						

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{P_{INICIAL} - P_{FINAL}}{P_{FINAL}} * 100$$

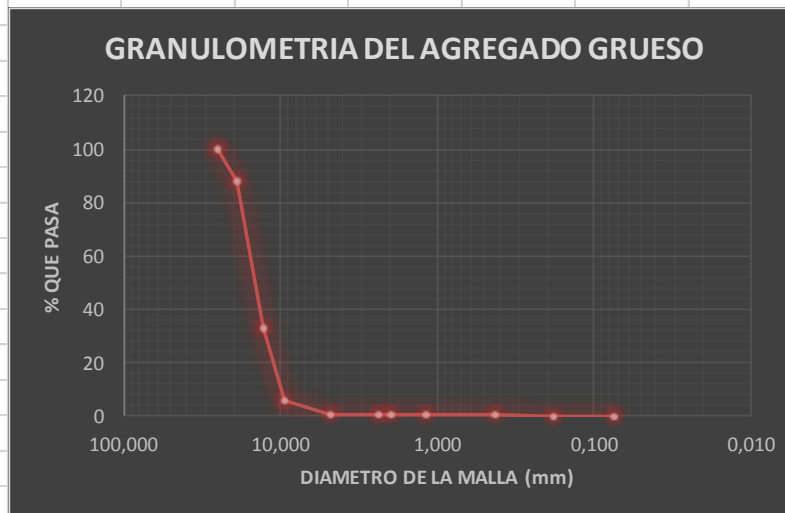
MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A	5000	5000	0,00	35% MAX
B	5000	4202,76	18,97	35% MAX
C	5000	4012,73	24,60	35% MAX
D	5000	3904,83	28,05	35% MAX

Ing. Moises Diaz Ayarde
JEFE DE LAB. DE SUELOS Y HORMIGONES

	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA	
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN	
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL (TARIJA-BOLIVIA)	
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN SOBRE EL MÓDULO RESILIENTE DE LAS MAC.		
AGREGADO: PROCEDENCIA SAN JOSÉ DE CHARAJA	MUESTRA N°:	FECHA: 29/AGOSTO DE 2014
		LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO PROYECTO DE GRADO II


AGREGADO 3/4"-3/8" PESO DE LA MUESTRA 5000 gr

MALLA N°	DIAMETRO (mm)	MASA DEL SUELO RETENIDO EN CADA MALLA (gr)	PORCENTJE DE SUELO RETENIDO EN CADA MALLA	% QUE PASA
1"	25,400	0	0	100
3/4"	19,050	595	11,9	88,1
1/2"	12,700	2760	55,2	32,9
3/8"	9,530	1335	26,7	6,2
N°4	4,750	275	5,5	0,7
N°8	2,375	10	0,2	0,5
N°10	2,000	5	0,1	0,4
N°16	1,160	5	0,1	0,3
N°40	0,430	0	0	0,3
N°80	0,180	5	0,1	0,2
N°200	0,075	5	0,1	0,1



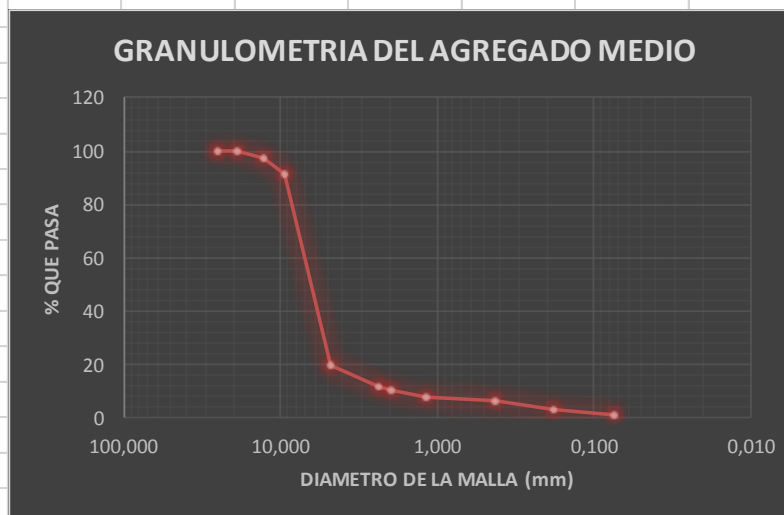
Ing. Moises Diaz Ayarde

JEFE DEL LAB. DE SUELOS Y HORMIGONES

	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA	
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN	
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL (TARJÁ-BOLIVIA)	
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO MEDIO (SELLO)		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN SOBRE EL MÓDULO RESILIENTE DE LAS MAC.		
AGREGADO: PROCEDENCIA SAN JOSÉ DE CHARAJA	MUESTRA N°:	FECHA: 29/AGOSTO DE 2014
		LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO PROYECTO DE GRADO II

AGREGADO 3/8"-N°4 PESO DE LA MUESTRA 3000 gr

MALLA N°	DIAMETRO (mm)	MASA DEL SUELO RETENIDO EN CADA MALLA (gr)	PORCENTJE DE SUELO RETENIDO EN CADA MALLA	% QUE PASA
1"	25,400	0	0	100
3/4"	19,050	0	0	100
1/2"	12,700	75	2,5	97,5
3/8"	9,530	186	6,2	91,3
N°4	4,750	2142	71,4	19,9
N°8	2,375	246	8,2	11,7
N°10	2,000	27	0,9	10,8
N°16	1,160	81	2,7	8,1
N°40	0,430	42	1,4	6,7
N°80	0,180	111	3,7	3
N°200	0,075	45	1,5	1,5

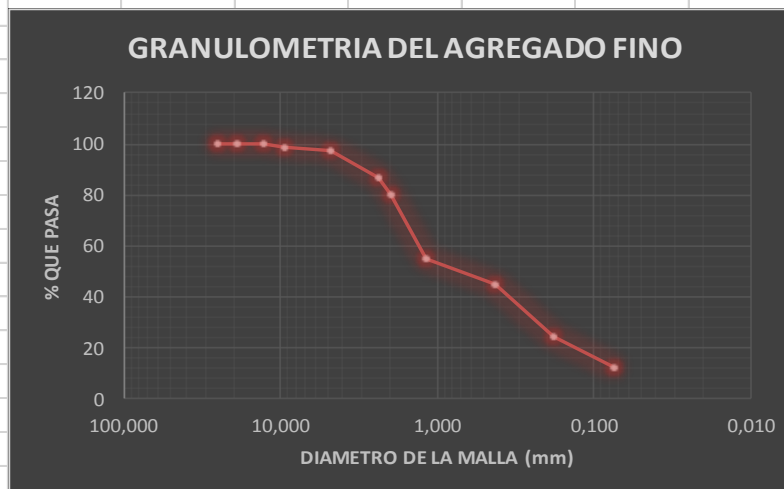


Ing. Moises Diaz Ayarde
JEFE DEL LAB. DE SUELOS Y HORMIGONES


	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA	
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN	
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL (TARJA-BOLIVIA)	
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN SOBRE EL MÓDULO RESILIENTE DE LAS MAC.		
AGREGADO: PROCEDENCIA SAN JOSE DE CHARAJA	MUESTRA N°:	FECHA: 29/AGOSTO DE 2014
		LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO
		PROYECTO DE GRADO II

GREGADON°4-N°200 PESO DE LA MUESTRA/ 1000 gr

MALLA N°	DIAMETRO (mm)	MASA DEL SUELO RETENIDO EN CADA MALLA (gr)	PORCENTAJE DE SUELO RETENIDO EN CADA MALLA	% QUE PASA
1"	25,400	0	0	100
3/4"	19,050	0	0	100
1/2"	12,700	0	0	100
3/8"	9,530	12	1,2	98,8
N°4	4,750	13	1,3	97,5
N°8	2,375	104	10,4	87,1
N°10	2,000	70	7	80,1
N°16	1,160	250	25	55,1
N°40	0,430	100	10	45,1
N°80	0,180	206	20,6	24,5
N°200	0,075	121	12,1	12,4



Ing. Moises Diaz Ayarde
JEFE DEL LAB. DE SUELOS Y HORMIGONES

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAE SARACHO		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA		
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA BOLIVIA)		
COMBINACION DE LOS AGREGADOS			
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MAC			
AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA	MUESTRA N°:	N° DE ENSAYO:	
		FECHA: 1 DE SEPTIEMBRE DE 2014	
		LABORATORISTA: OSMAN GUTERREZ A.	

COMBINACION DE LOS AGREGADOS:

- a: 0,27
b: 0,31
c: 0,42

análisis granulométrico


TAMIZ	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
agregado A	100	88,1	32,9	6,2	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1
agregado B	100	100	97,5	91,3	19,9	11,7	10,8	8,1	6,7	3	1,5
agregado C	100	100	100	98,8	97,5	87,1	80,1	55,1	45,1	24,5	18,4

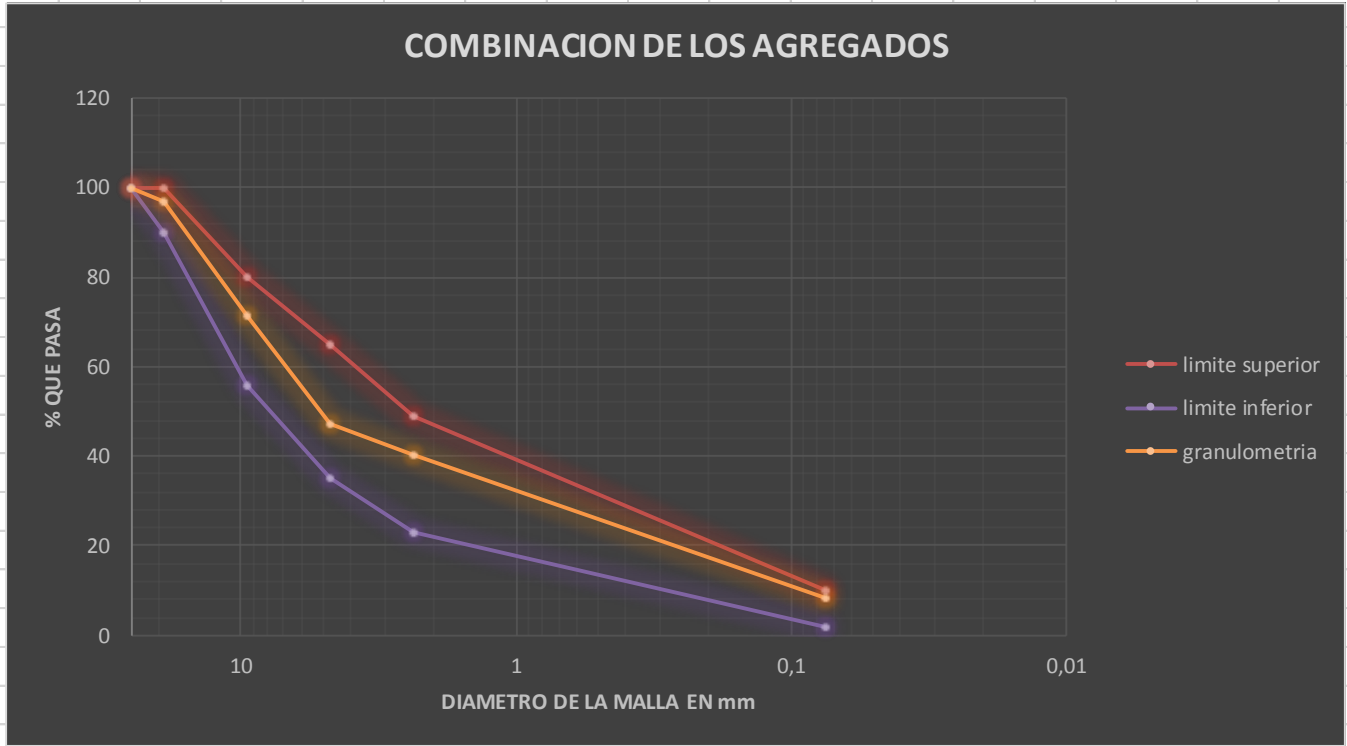
combinación

TAMIZ	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
agregado A*a	27	23,79	8,883	1,674	0,189	0,135	0,108	0,081	0,081	0,054	0,027
agregado B*b	31	31	30,23	28,3	6,169	3,627	3,348	2,511	2,077	0,93	0,465
agregado C*c	42	42	42	41,5	40,95	36,58	33,64	23,14	18,94	10,29	7,728
suma	100	96,79	81,11	71,47	47,31	40,34	37,1	25,73	21,1	11,27	8,22
especificación	100-100	90-100	-	56-80	35-65	23-49	-	-	-	-	2-10

Ing. Moises Diaz Ayarde


JEFE DE LAB. DE SUELOS Y HORMIGONES

	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA		
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA BOLIVIA)		
COMBINACION DE LOS AGREGADOS GRAFICA			
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MEZCLAS AS FALTICAS			
AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA	MUESTRA N°:	N° DE ENSAYO:	
		FECHA: 1 DE SEPTIEMBRE DE 2014	
		LABORATORISTA: OSMAN GUTERREZ .A.	



Ing. Moises Diaz Ayarde

JEFE DE LAB. DE SUELOS Y HORMIGONES

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA	
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN	
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARIFA-BOLIVIA)	
ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MAC.		
AGREGADO: PROCEDENCIA SAN JOSE DE CHARAJA	MUESTRA N°:	FECHA: 5 DE SEPTIEMBRE DE 2014
		LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO

A peso en el aire del agregado seco al horno: 2983,8 gr

B peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco: 3007,8 gr


C peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua: 1877,7 gr

$$\text{gravedad especifica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{A - C} = 2,698$$

$$\text{gravedad especifica seca de bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B - C} = 2,640$$

$$\text{gravedad especifica saturada superficialmente seca bulk, } G_{sssb} = \frac{B}{B - C} = 2,662$$

$$\text{absorcion(\%)} = \frac{(B - A) * 100}{A} = 0,804$$

	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA	
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN	
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL (TARIJA-BOLIVIA)	
ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO fino		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MAC.		
AGREGADO: PROCEDENCIA SAN JOSE DE CHARAJA	MUESTRA N°:	FECHA: 6 DE SEPTIEMBRE DE 2014
		LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO

A peso en el aire del agregado seco al horno: 492,4 gr

B peso del matraz (picnometro) con agua: 686,2 gr

C peso del matraz (picnometro) con el agregado asta la marca: 999,7 gr


D peso del material saturado supedficialmente seco(500+10) 500 gr

$$\text{gravedad especifica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{B + A - C} = 2,752$$

$$\text{gravedad especifica seca bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B + D - C} = 2,640$$

$$\text{gravedad especifica sat. sup. seca bulk, } G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C} = 2,681$$

$$\text{absorcion(\%)} = \left(\frac{D - A}{A} \right) * 100 = 1,543 \quad \%$$

	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA	
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN	
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARIJA-BOLIVIA)	
EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D 2419		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MAC.		
AGREGADO: PROCEDENCIA SAN JOSE DE CHARAJA	MUESTRA N°:	FECHA: 8 DE SEPTIEMBRE DE 2014
		LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ AÑAZGO

Temperatura de ensayo 25 °C

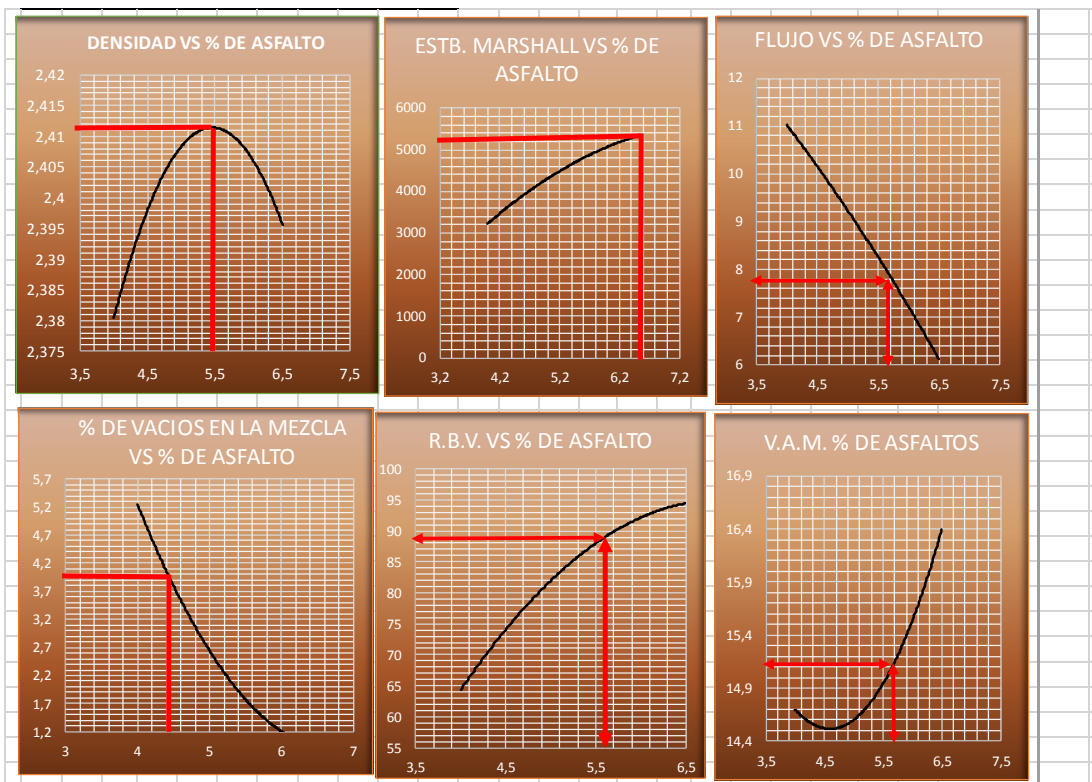
datos del laboratorio	
h arena (cm)	h arcilla (cm)
7,3	12,4
7,3	12,4
7,5	12,4

$$SE = \frac{\text{Lectura arena}}{\text{lectura arcilla}} \times 100$$

equivalente de arena	NORMA
58,87	>50%
58,87	>50%
60,48	>50%

N° de probeta		altura de probeta		% de asfalto		peso probeta		vol		densidad probeta		densidad real		densidad promedio		densidad maxima teorica		% de vacios mezcla seca		V.A.M. (vaciros agregado mineral)		R.B.V. (relacion betumen vacios)		lectura del dial		estabilidad marshall		flujo		observaciones			
				grs.	grs.	CC	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%	libras	libras	libras	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio														
1	6.3	4	4.2	192.0	194.0	694.5	499.5	2.386																1330	3563	1013	3610	290	0.142				
2	6.4	4	4.2	196.3	120.0	698.0	503.0	2.378																	1230	3294	0.988	3253	310	0.1220			
3	6.4	4	4.2	190.7	197.0	694.0	503.0	2.367	2.377	2.512	5.371	14.81	63.74	1080	2890	0.988	2854	3239	280	0.1102	1155												
4	6.2	4.5	4.7	185	187	694.5	492.5	2.405																	1360	3644	1040	3790	250	0.0984			
5	6.3	4.5	4.7	182	186	694.5	487.0	2.424																	1480	3967	1013	4099	200	0.0787			
6	6.21	4.5	4.7	197	200	699	5010	2.389	2.407	2.493	3.441	14.2	75.76	1170	3132	1037	3248	3686	210	0.0827	8.661												
7	6.3	5	5.3	189	192	698.5	493.5	2.41																	1530	4102	1013	4155	260	0.1024			
8	6.3	5	5.3	188	189	692.6	496.4	2.392																		1530	4102	1013	4155	260	0.1024		
9	6.3	5	5.3	185	188	694	494.0	2.398	2.400	2.474	2.970	14.89	80.05	1070	3287	1013	3355	4555	280	0.1102	10.5												
10	6.2	5.5	5.8	189	190	698.5	491.5	2.419																		1410	3779	1040	3930	200	0.0787		
11	6.2	5.5	5.8	184	187	695.4	491.2	2.411																		2080	5583	1040	3806	220	0.0866		
12	6.2	5.5	5.8	188	188	696	492.0	2.412	2.414	2.455	1.653	14.84	88.86	1450	3886	1040	4042	4593	210	0.0827	8.268												
13	6.1	6	6.4	176	177	689	488.0	2.411																		1440	3859	1071	4133	175	0.0689		
14	6.1	6	6.4	173	174	687.8	485.8	2.414																			1970	5287	1071	3662	170	0.0669	
15	6.3	6	6.4	185	186	691.1	494.0	2.394	2.406	2.436	1.249	15.58	91.98	1940	5206	1013	5273	5023	175	0.0689	6.824												
16	6.1	6.5	7.0	160	161	677.7	483.2	2.401																			1820	4883	1071	5229	155	0.0610	
17	6.2	6.5	7.0	173	173	683.7	489.3	2.396																			1930	5179	1040	5386	155	0.0610	
18	6.2	6.5	7.0	179	180	686.6	492.0	2.391	2.396	2.418	0.002	16.37	94.49	1970	5287	1040	5498	5371	165	0.0650	6.234												
observacion																																	
especificacion				minimo																													
				maximo																													
DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO		ENSAYO		% DE ASFALTO		VAL DE DISEÑO																											
		ESTABILIDAD MARSHALL		Lds		6.7		5150																									
		DENSIDAD MAXIMA				5.6		2.421																									
		% DE VACIOS				4.42		4																									
		PROMEDIO				5.6																											

Ing. Adolfo Molina
RESP. DEL LAB. DE ASFALTOS UAJMS



4.10. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

I4.10.1. INTRODUCCIÓN

En la construcción de la capa de rodadura intervienen numerosos factores como son el diseño de las mezclas asfálticas, su fabricación y posterior compactación, que tienen gran influencia en la calidad final de ésta.

Las mezclas asfálticas se elaboran con áridos y ligante, y sus características y dosificación vienen determinadas por diferentes normas, con el objetivo de conseguir las características estructurales y funcionales que den la máxima comodidad y seguridad al usuario. Para ello deben cumplir ciertas propiedades como la estabilidad, la resistencia a las deformaciones plásticas, la resistencia a la fatiga, la impermeabilidad entre otras. Estas propiedades se determinan con ensayos de calidad sobre los materiales que posteriormente se utilizarán para realizar la mezcla.

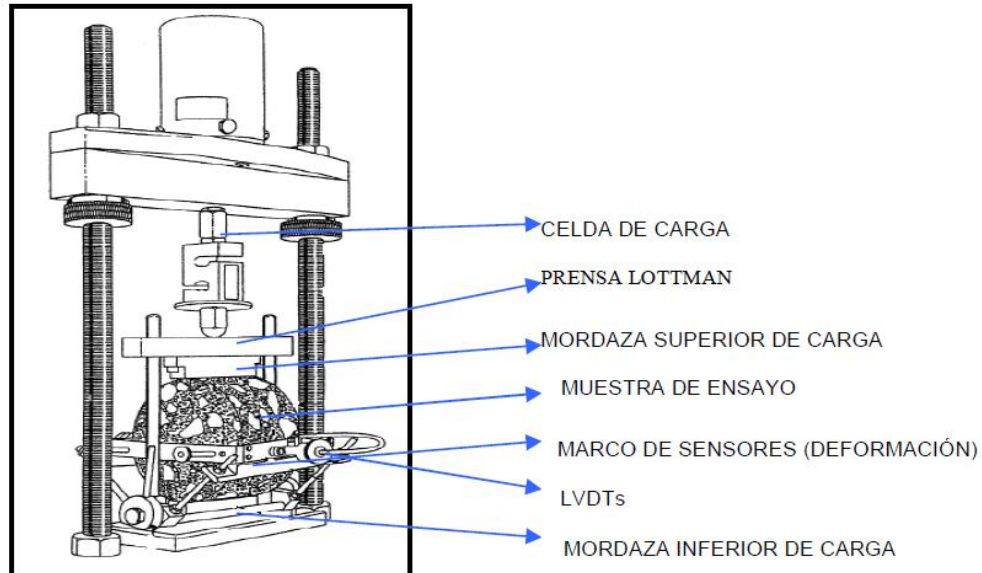
En los últimos tiempos se estudian nuevos métodos de diseño y control de las mezclas asfálticas. Hay dos parámetros de gran importancia que están empezando a utilizarse para caracterizar las mezclas asfálticas. Éstos son el módulo elástico y la resistencia a tracción indirecta.

4.10.2. ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA.

La capa de rodadura se deteriora debido al paso de cargas y a los agentes climáticos. Por ello es necesario saber los parámetros que caracterizan a las mezclas bituminosas y definir sus límites de fallo, tanto por fatiga, como por figuración térmica o deformación plástica. Por este motivo es necesario saber qué ensayos son necesarios para caracterizar a la mezcla y qué análisis se deben realizar a partir de los datos obtenidos.

El ensayo para determinar las características de la mezcla será un compromiso entre la precisión obtenida y lo factible que sea su utilización, con la finalidad de obtener un modelo lo más representativo posible pero a su vez de fácil aplicación considerando la disponibilidad de tiempo, recursos económicos y equipamientos.

4.10.3. ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA DETERMINAR MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS



Luego de determinado el porcentaje óptimo de asfalto y teniendo ya establecidos los porcentajes de cada agregado para el diseño de la mezcla, se procedió a la fabricación de las briquetas 3 para cada temperatura de compactación.

4.11. RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO.

Una vez fabricadas las briquetas se procedió de la siguiente manera:

- Determinar el peso específico bulk de cada briketa.
- Trazar dos líneas perpendiculares entre sí, una en el diámetro horizontal y otra en el vertical, y luego proyectarlas al espesor.

Tomar dos medidas de diámetros (en cruz) y tres medidas de altura (formando una Y) de cada briketa.



TOMAR LAS
MEDIDAS DE LA
ALTURA
FORMANDO UNA Y



Colocar las
briquetas a la
temperatura de
prueba por un lapso
1 hora.

COLOCAR LAS
BRIQUETAS A 40 °C
DURANTE 1 hora





Colocar la briqueta a ensayarse en el equipo.

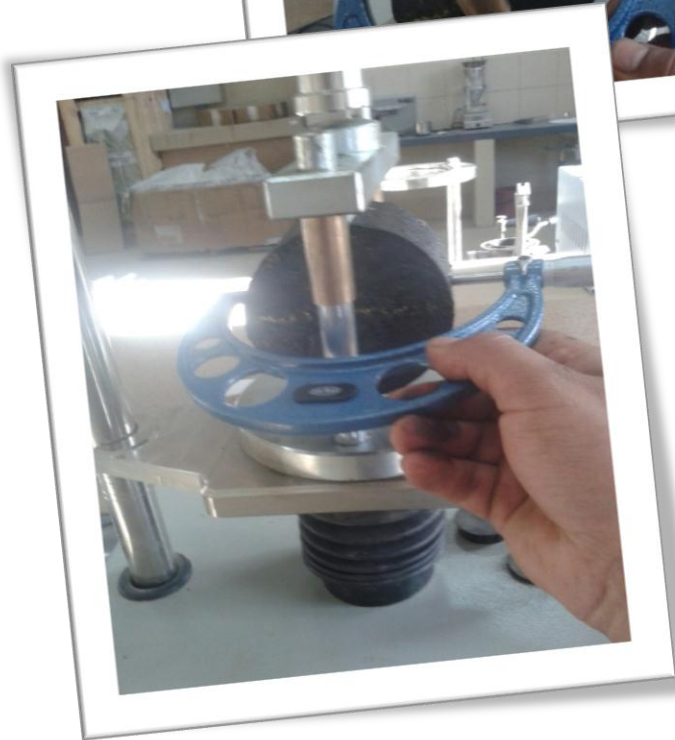
. Ajustar bien las tuercas para impedir que el marco se desnivele.

Verificar que la línea en el diámetro vertical coincida con el centro de la mordaza inferior y superior

Tomar la lectura inicial del diámetro de la briqueta



Tomar la lectura del diámetro al romper la briqueta la diferencia entre el anterior y este nos da la deformación




Tomar la lectura de la carga al momento de la ruptura




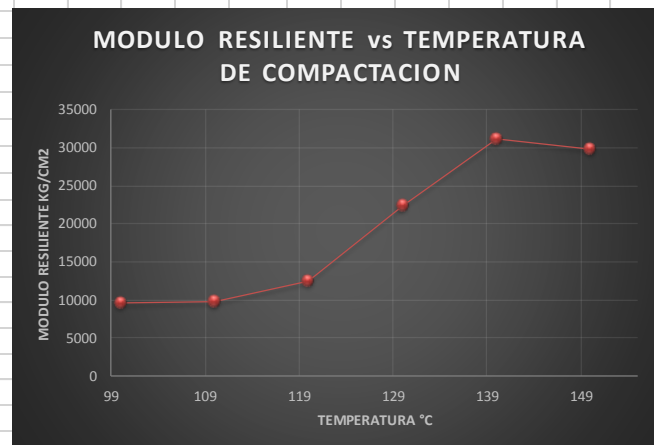
TOMAR LA LECTURA
DEL DIAL AL
ROMPER LA
BRIQUETA

Con los datos de carga y deformación adquiridos se procede a calcular el módulo de Elasticidad con la siguiente ecuación.

$$\delta_h = \frac{P}{t * E} * [0.274 + 1.36 * v]$$

		UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJA BOLIVIA)												
		DETERMINACION DEL MODULO RESILIENTE DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON EQUIPO LOTIMAN PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS												
AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA		DESTINO (Km)			N° DE ENSAYO: 1-2									
MUESTRA N°		ESTRUCTURA			FECHA: 25 DE SEPTIEMBRE DE 2014									
ORIGEN (Km)		POZO (Km)			LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ, A.									
CEMENTO ASFALTICO BETUNEL PROCEDENCIA BRASIL										NUMERO DE GOLPES: 75				
CEMENTO ASFALTICO 85-100										CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO: 5,6				
PESO ESPECIFICO TOTAL														
N° DE BRQUETA	DIAMETRO (Pulg.)	ESPESOR 1 (Pulg)	ESPESOR 2 (Pulg)	ESPESOR 3 (Pulg)	ESPESOR PROMEDIO (cm)	LECTURA DEL DIAL DE CARGA	CARGA (kg)	DEFORMACION (Pulg)	DEFORMACION (cm)	RELACION POISSON	MODULO RESILIENTE (kgf/cm2)	PROMEDIO DEL MODULO RESILIENTE	TEMPERATURA DE PRUEBA	OBSERVACIONES
1	4.0236	2.581	2.4747		6.421	1105	1344.2376	4.030	0.01499	0.35	10477.7		150	
2	4.0236	2.416	2.4749		6.187	1100	1338.1176	4.0249	0.0033	0.35	49127.1		150	
3	4.0236	2.525	2.5413		6.419	1180	1436.0376					29802.4	150	FRACTURADANO SE TOMO LECTURA
4	4.0236	2.526	2.5205		6.403	1125	1368.7176	4.0262	0.0066	0.35	24275.8		140	
5	4.0236	2.501	2.4196		6.307	1145	1393.1976	4.0287	0.01295	0.35	12789.7		140	
6	4.0236	2.527	2.5187		6.368	1100	1338.1176	4.0247	0.00279	0.35	56409.6	31188.3	140	
7	4.0236	2.509	2.5127		6.369	1142	1389.5256	4.0284	0.01219	0.35	13420.4		130	
8	4.0236	2.423	2.4478		6.207	1155	1405.4376	4.0254	0.00457	0.35	37143.2		130	
9	4.0236	2.574	2.5274		6.452	1185	1442.1576	4.0276	0.01016	0.35	16499.4	22354.3	130	
10	4.0236	2.453	2.4779		6.303	1158	1409.1096	4.0305	0.01753	0.35	9567.25		120	
11	4.0236	2.397	2.4164		6.158	1129	1496.0136	4.0287	0.01295	0.35	14066.3		120	
12	4.0236	2.420	2.4686		6.231	1175	1429.9176	4.0286	0.0127	0.35	13553.1	12395.5	120	
13	4.0236	2.500	2.4493		6.262	1203	1464.1896	4.0366	0.03302	0.35	5310.59		110	
14	4.0236	2.452	2.4564		6.270	1165	1417.6776	4.0345	0.02769	0.35	6125.16		110	
15	4.0236	2.503	2.4965		6.235	1212	1475.2056	4.0272	0.00914	0.35	18037.2	9824.33	110	
16	4.0236	2.5123	2.4956		6.3671	1155	1405.4376	4.0282	0.01168	0.35	14169		100	
17	4.0236	2.4956	2.4819		6.31579	1156	1406.6616	4.0388	0.03861	0.35	4326.59		100	
18	4.0236	2.5102	2.5146		6.366	1160	1411.5576	4.0300	0.01626	0.35	10230.1	9575.23	100	
Ing. Adolfo Molina RESP. DEL LAB. DE ASFALTOS UAJMS														

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA		
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJIA BOLIVIA)		
	GRAFICA MODULO RESILIENTE VS TEMPERATURA DE COMPACTACION		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS			
AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA	DESTINO (Km)	N° DE ENSAYO: 12	
MUESTRA N°	ESTRUCTURA	FECHA: 10 DE OCTUBRE DE 2014	
ORIGEN (Km)	P OZO (Km)	LABORATORISTA: OSMAN GUTERREZ, A.	



Ing. Adolfo Molina

RESP. DEL LAB. DE ASFALTOS UAIMS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION

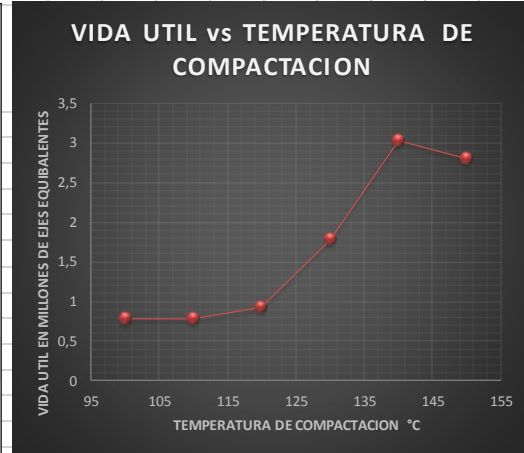
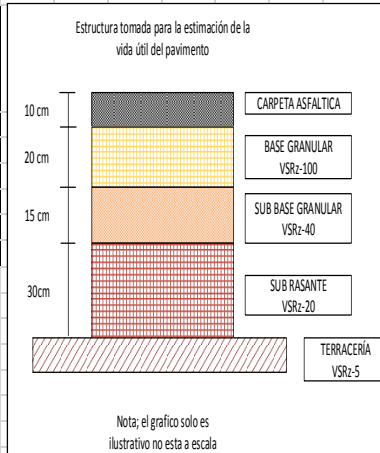
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA BOLIVIA)

GRAFICA VIDA UTIL vs TEMPERATURA DE COMPACTACION

PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS


AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA	DESTINO (Km)	N° DE ENSAYO: 1-2
MUESTRA N°	ESTRUCTURA	FECHA: 25 DE SEPTIEMBRE DE 2014
ORIGEN (Km)	POZO (Km)	LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ, A.

TEMPERATURA DE COMPACTACION	VIDA UTIL OBTENIDA POR EL SOFTWARE DISPAV
150	2,8
140	3,02
130	1,79
120	0,92
110	0,79
100	0,78

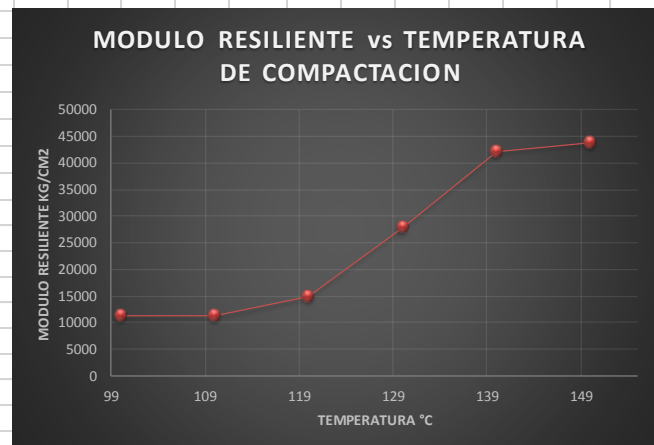


Ing. Adolfo Molina

RESP. DEL LAB. DE ASFALTOS UAJMS

		UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJA BOLIVIA)												
		DETERMINACION DEL MODULO RESILIENTE DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON EQUIPO LOTIMAN PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS												
AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA		DESTINO (Km)			N° DE ENSAYO: 1-2									
MUESTRA N°		ESTRUCTURA			FECHA: 25 DE SEPTIEMBRE DE 2014									
ORIGEN (Km)		POZO (Km)			LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ, A.									
CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO BETUFLEX BRASIL										NUMERO DE GOLPES: 75				
CEMENTO ASFALTICO 60-85										CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO:				
PESO ESPECIFICO TOTAL														
N° DE BRQUETA	DIAMETRO (Pulg.)	ESPESOR 1 (Pulg)	ESPESOR 2 (Pulg)	ESPESOR 3 (Pulg)	ESPESOR PROMEDIO (cm)	LECTURA DEL DIAL DE CARGA	CARGA (kg)	DEFORMACION (Pulg)	DEFORMACION (cm)	RELACION POISSON	MODULO RESILIENTE (kgf/cm ²)	PROMEDIO DEL MODULO RESILIENTE	TEMPERATURA DE PRUEBA	OBSERVACIONES
1	4.0236	2.581	2.4747	2.4737	6.375	1680	#####	4.030	0.01499	0.35	16078.4		150	
2	4.0236	2.416	2.4749	2.4165	6.187	1654	2016.2136	4.0249	0.0033	0.35	74022.4		150	
3	4.0236	2.525	2.5413	2.5148	6.419	1683	2051.7096	4.0259	0.00584	0.35	41036.6	43712.5	150	
4	4.0236	2.526	2.5205	2.516	6.403	1515	1846.0776	4.0262	0.0066	0.35	32742.3		140	
5	4.0236	2.501	2.4196	2.5289	6.307	1510	1839.9576	4.0287	0.01295	0.35	16891		140	
6	4.0236	2.527	2.5187	2.4756	6.368	1500	1827.7176	4.0247	0.00279	0.35	77049.1	42227.4	140	
7	4.0236	2.509	2.5127	2.5012	6.369	1455	1772.6376	4.0284	0.01219	0.35	17120.6		130	
8	4.0236	2.423	2.4478	2.4608	6.207	1450	1766.5176	4.0254	0.00457	0.35	46685.9		130	
9	4.0236	2.574	2.5274	2.5199	6.452	1440	1754.2776	4.0276	0.01016	0.35	20070.3	27958.9	130	
10	4.0236	2.453	2.4779	2.5134	6.303	1415	1723.6776	4.0305	0.01753	0.35	11703		120	
11	4.0236	2.397	2.4164	2.4595	6.158	1430	1742.0376	4.0287	0.01295	0.35	16379.5		120	
12	4.0236	2.420	2.4686	2.5	6.231	1435	1748.1576	4.0286	0.0127	0.35	16569.4	11884	120	
13	4.0236	2.500	2.4493	2.4472	6.262	1386	1688.1816	4.0366	0.03302	0.35	6123.01		110	
14	4.0236	2.452	2.4564	2.4973	6.270	1387	1689.4056	4.0345	0.02769	0.35	7299.18		110	
15	4.0236	2.503	2.4965	2.9235	6.708	1388	1690.6296	4.0272	0.00914	0.35	20671.2	11364.5	110	
16	4.0236	2.5123	2.4956	2.5123	6.3671	1352	1646.5656	4.0282	0.01168	0.35	16600		100	
17	4.0236	2.4956	2.4819	2.4821	6.31579	1368	1666.150	4.0388	0.03861	0.35	5124.72		100	
18	4.0236	2.5102	2.5146	2.4931	6.366	1350	1644.1176	4.0300	0.01626	0.35	1915.5	11213.4	100	
										Ing. Adolfo Molina				
										RESP. DEL LAB. DE ASFALTOS UAIMS				

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA		
	DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA BOLIVIA)		
	GRAFICA MODULO RESILIENTE VS TEMPERATURA DE COMPACTACION		
PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS			
AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA	DESTINO (Km)	N° DE ENSAYO: 12	
MUESTRA N°	ESTRUCTURA	FECHA: 25 DE SEPTIEMBRE DE 2014	
ORIGEN (Km)	P OZO (Km)	LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ, A.	



Ing. Adolfo Molina

RESP. DEL LAB. DE ASFALTOS UAJMS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION

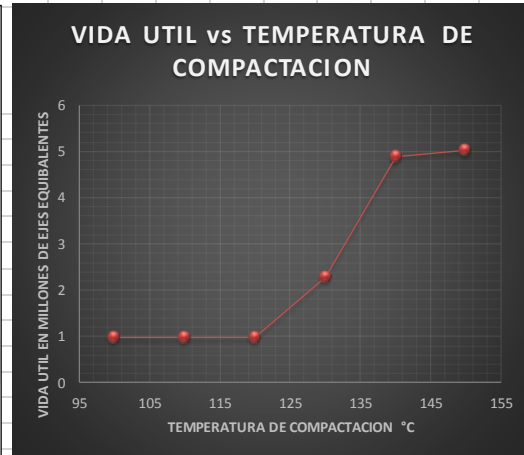
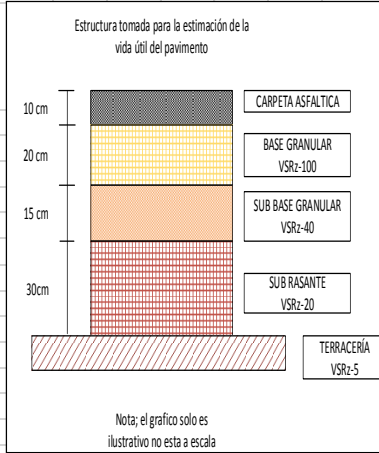
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA BOLIVIA)

GRAFICA VIDA UTIL vs TEMPERATURA DE COMPACTACION

PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA	DESTINO (Km)	N° DE ENSAYO: 1-2
MUESTRA N°	ESTRUCTURA	FECHA: 25 DE SEPTIEMBRE DE 2014
ORIGEN (Km)	POZO (Km)	LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ, A.

TEMPERATURA DE COMPACTACION	VIDA UTIL OBTENIDA POR EL SOFTWARE DISPAV
150	5,02
140	4,88
130	2,28
120	0,99
110	0,975
100	0,97



Ing. Adolfo Molina

RESP. DEL LAB. DE ASFALTOS UAJMS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION

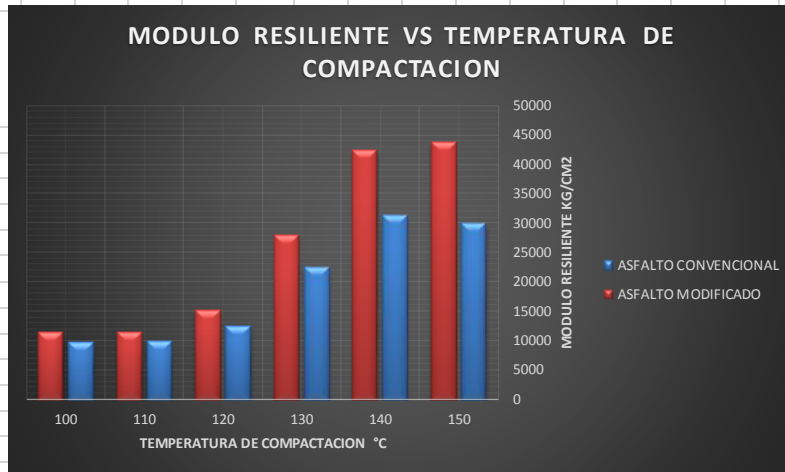
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA BOLIVIA)

COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE UN ASFALTO CONVENCIONAL Y EL OTRO MODIFICADO

PROYECTO: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE EL MODULO RESILIENTE DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

AGREGADO: SAN JOSE DE CHARAJA	DESTINO (Km)	N° DE ENSAYO: 1-2
MUESTRA N°	ESTRUCTURA	FECHA: 25 DE SEPTIEMBRE DE 2014
ORIGEN (Km)	POZO (Km)	LABORATORISTA: OSMAN GUTIERREZ, A.

TEMPERATURA DE COMPACTACION °C	MODULO RESILIENTE ASFALTO CONVENCIONAL	MODULO RESILIENTE ASFALTO MODIFICADO
150	29802	43712
140	31158	#####
130	22354	27959
120	12396	14884
110	9824,3	11364
100	9575,2	11213



Ing. Adolfo Molina

RESP. DEL LAB. DE ASFALTOS UAJMS

4.15. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Según el ensayo de tracción indirecta para un cemento asfáltico convencional con penetración 85-100 la temperatura óptima es 140 °C.

Para un cemento asfáltico modificado la temperatura óptima es 160 °C.

Para complementar estos parámetros el instituto del asfalto recomienda lo siguiente:

PROCESO	TEMPERATURA °C	COMENTARIOS
Punto máximo de trabajabilidad segura	232	Luego de esta temp. Hay alta probabilidad de ignición.
Mezclado de la mezcla asfáltica en planta	149<T<160	
Colocación y compactación en campo	124<T<140	
Temp. De preparación de mezcla en laboratorio	140<T<155	
Temp. De compactación en laboratorio	130<T<140	
Mezcla fría	T<80	
Mezcla quemada	T>=163	

Perdida de temperatura durante la compactación de la mezcla asfáltica con el periodo de compactación

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En la presente investigación se han cumplido los objetivos planteados debido a que se ha demostrado que la influencia de la temperatura de compactación es significativa en la propiedad mecánica que es el módulo resiliente y por consiguiente en la duración de la misma como podemos observar en los siguientes cuadros.

(1)

PROMEDIO DEL MODULO	TEMPERATURA DE PRUEBA
29802,4	150
31158,3	140
22354,3	130
12395,5	120
9824,33	110
9575,23	100

(2)

PROMEDIO DEL MODULO	TEMPERATURA DE PRUEBA
43712,5	150
42227,4	140
27958,9	130
14884	120
11364,5	110
11213,4	100

En el cuadro 1 una mezcla fabricada con asfalto convencional pero compactado a distintas temperaturas de compactación se observa claramente como hay un cambio en el comportamiento del módulo resiliente a mayor temperatura de compactación mayor módulo resiliente pero cuando la temperatura pasa lo especificado el módulo empieza a bajar.

En el cuadro 2 la mezcla fue fabricada con un asfalto modificado el comportamiento es casi similar al anterior con la diferencia que la temperatura de compactación es

mucho mayor que el anterior debido a las propiedades que se han mejorado por el agente modificante.

- La importancia de ejecutar un buen control de calidad a la temperatura de compactación es fundamental a la hora del colocado de la mezcla asfáltica en obra. Este ensayo podría usarse como una manera de controlar a la mezcla asfáltica debida a que es fácil de realizar y sus bajos costos de su realización.
- Una mezcla asfáltica fabricada bajo las mejores condiciones de control de calidad en la compactación tendrá un excelente módulo resiliente lo cual provocará una mayor resistencia a las deformaciones plásticas y por consiguiente mayor respuesta a la fatiga del material.
- En la investigación se determinó el Módulo de Elasticidad Estático para mezclas asfálticas densas a través del ensayo de Tracción Indirecta, se analizó la incidencia que puede tener la temperatura de compactación en la elaboración de probetas sobre las propiedades elásticas de las mezclas asfálticas
- Es importante decir que la caracterización del cemento asfaltico y la caracterización del agregado pétreo son fundamentales ya que su cumplimiento nos dan la garantía de la que la mezcla tiene buenas propiedades por el lado de los materiales del cual están compuesta la misma.

5.2. RECOMENDACIONES

- En lo posterior se recomienda profundizar el estudio ampliando el campo de investigación a la temperatura de mezclado, además de usar el equipo triaxial dinámico para mezclas asfálticas que nos daría resultados más exactos del comportamiento del módulo resiliente en función a la temperatura de compactación.
- Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos.
- Dar mantenimiento al equipo Marshall para compactación.
- En lo posible usar un extensómetro para medir la deformación para tener mayor precisión en el ensayo además se sugiere considerar hacer lecturas cada cierto

tiempo para observar como aumenta el módulo resiliente al aumentar la carga del equipo.