

1. CAPITULO I: DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. INTRODUCCIÓN

El deterioro del ligante asfáltico es un proceso inevitable. En el caso de la producción de mezcla asfáltica en caliente, este proceso se potencia durante la fabricación y compactación de la mezcla fundamentalmente debido a las reacciones de oxidación catalizadas por la alta temperatura y la presencia de oxígeno, continuando durante la vida de servicio del pavimento debido a la exposición a alta temperatura, rayos UV y oxígeno. la principal consecuencia de este fenómeno es la rigidización del ligante y el aumento del potencial de agrietamiento del pavimento, y debido a reacciones químicas ocurridas durante el proceso de oxidación, el aumento en el potencial de daño por humedad. Existen diferentes técnicas para aminorar el proceso de deterioro, entre las cuales la más directa es la adición de antioxidante.

Esta investigación muestra los efectos de la adición de un tipo de antioxidante provenientes de residuo de la industria enológica, en las propiedades mecánicas respecto a la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica.

Para los resultados se tiene previsto que con la adición de antioxidante mejore el desempeño mecánico de las mezcla ya que a similares niveles de rigidez, las mezcla tratadas conservaron mayor capacidad de deformación, mejorando la resistencia al agrietamiento. Adicionalmente, las mezclas tratadas presentaron resistencias conservadas post condición de inmersión menor que la mezcla control, aun cuando cumplen con el criterio para ser usadas en algunos casos como base de pavimento y en otros como carpeta de rodadura de acuerdo a normas.

Puesto que existen fallas que se generan con el pasar del tiempo en la mezcla asfáltica debidas a la humedad que se va presentando en el pavimento flexible por intemperismo especialmente.

La presente investigación sería una alternativa de solución a los daños en pavimentos flexibles para que se reduzca la susceptibilidad a la humedad en mezcla asfáltica, reduciendo de esta manera la influencia y el daño que implica el contenido de agua en pavimentos flexibles, evaluando los daños e inconvenientes observados en los pavimentos de la ciudad.

Debido a que estas fallas influidas por la susceptibilidad a la humedad en mezcla asfálticas, perjudican el transporte comercial, además de aumentar el riesgo de accidentes peatonales, siendo de beneficio tanto social como académico.

Socialmente, la presente investigación tendrá un impacto positivo si se toma en cuenta, en la ejecución de pavimentos flexibles, ayudando así a la seguridad ciudadana al reducir el impacto de humedad que causa deterioro en los pavimentos, así como reducir el impacto al medio ambiente, utilizando antioxidante natural.

Académicamente el beneficio que se obtendrá de la presente investigación, es brindar una alternativa en mezclas asfálticas modificados, mediante ensayos y procedimientos descritos en el presente proyecto siendo de aporte o guía para las futuras investigaciones referidas o relacionadas a este tema, dándoles infinitas posibilidades y aplicaciones a partir de la misma, para poder brindar una solución ante este problema

Fig. 1.1 Sup. pavimento dañado 1



Fuente: <http://www.pavimentosdañados.com>

Fig. 1.2 Sup. pavimento dañado 2



Fuente: www.pavimentosdañados.com

Fig. 1.3 Sup. pavimento



Fuente: <http://www.pavimentosdañados.com>

1.2. JUSTIFICACIÓN

El deterioro de pavimentos en nuestro departamento provocan manifestaciones superficiales en la capa de rodadura que hacen que el tránsito vehicular sea menos seguro y confortable, aumentando a la vez los costos de operación, donde la capa asfáltica se apoya directamente sobre la base compactada, se observan con frecuencia estas deformaciones, que perjudican al libre tránsito de tráfico vehicular.

El uso constante de vías de comunicación, exige una buena calidad de vías de comunicación, que influyen en la economía regional, en el transporte público, etc... por lo tanto es imprescindible certificar seguridad y confort en la circulación de las vías.

El área de ingeniería vial en estos tiempos tiene mayores retos en forma general, como es el investigar con diferentes materiales buscando mejorar vías que soporten los mayores incrementos de cargas vehiculares, el desarrollo acelerado del tráfico vehicular, las variaciones climatológicas que se hacen más extremas en el tiempo, sumado a la insuficiencia de recursos para la inversión en infraestructuras viales, retan a la ingeniería en investigar y plantear nuevas alternativas que permitan conservar y mantener el buen desempeño y conservación de nuestras redes viales.

La necesidad de optimizar el comportamiento de los asfaltos convencionales, ante la susceptibilidad a la humedad que influye en las mezclas asfálticas, dando origen a

realizar la modificación de asfaltos con residuo enológico que mejorarán las propiedades mecánicas y disminuirá el daño que produce la humedad en las vías de comunicación, elevando de esta manera su desempeño.

Realizando esta mezcla asfáltica modificada se podrá cuantificar la influencia que tiene la humedad en las propiedades mecánicas del ligante asfáltico modificado a través de la adición de antioxidante proveniente del residuo de la industria vitivinícola propensa en nuestra región, analizando si reduciría el impacto que genera la humedad.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación problemática

El asfalto es un compuesto termoplástico, derivado de la refinación del petróleo, siendo susceptible a los cambios de temperatura, sufre deterioro por intemperismo, es afectado por la oxidación. Sus propiedades mecánicas son limitadas frente a diversos factores; es quebradizo a bajas temperaturas, fluye a altas temperaturas, además de tener una baja recuperación elástica, lo que limita su rango de utilidad. Por estas razones modificaremos el cemento asfáltico con un antioxidante natural para mejorar sus propiedades mecánicas, en especial su recuperación elástica.

Los asfaltos modificados proporcionan un mayor rango de temperaturas de servicio, permitiéndonos mejorar sus propiedades mecánicas y reológicas del ligante asfáltico empleado en la construcción de nuestras vías, confiriendo un aumento sustancial de sus propiedades de consistencia, adhesividad, resistencia a la humedad y durabilidad. Utilizando como aditivo un antioxidante, se evita la oxidación y el daño por humedad evitando fallas prematuras que generalmente suceden donde las mezclas asfálticas ofrecen unos módulos dinámicos relativamente más altos originados en la utilización de altas temperaturas durante el proceso de mezclado.

Actualmente todos los pavimentos flexibles tienen material asfáltico muy susceptible a la acción de la humedad, por ello es conveniente investigar las condiciones ante esta variable, tanto en condiciones normales de la mezcla como modificada por algún elemento que mejore la mezcla asfáltica.

En nuestro departamento no se llevaría a cabo un buen control en cuanto al daño por humedad en mezclas asfálticas, la cual genera un impacto significativo en las propiedades de la mezcla asfáltica.

Mediante la adición de residuo enológico podría mejorar la resistencia ante la influencia de la condición climatológica como ser la humedad.

1.4. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 Problema

¿Cuál sería la incidencia de someter a diferentes condiciones de humedad, una mezcla asfáltica modificada con antioxidante enológico proveniente del residuo de las productoras de vinos, en el comportamiento de la mezcla asfáltica en cuanto a la susceptibilidad a la humedad?

Los instrumentos y equipos a utilizar, son utilizados para el diseño de las mezclas asfálticas los cuales se encuentran en el laboratorio de la asociación accidental de Bermejo (A.S.A.) cuyos equipos son pertenecientes a la consultora y constructora ROBLE PATT. El equipo medidor de humedad se encuentra en el laboratorio de la carrera de arquitectura en las instalaciones de la Universidad Juan Misael Saracho.

La presente investigación está orientada a la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con antioxidante natural proveniente de residuo enológico, para poder realizar esta investigación usando los equipos de la consultora ROBLE PATT y el equipo de la universidad.

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con diferentes porcentajes de antioxidante enológico, sometidas a diferentes condiciones de humedad, para que podamos conocer si existen mejoras respecto a la susceptibilidad a la humedad.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✦ Determinación de la resistencia de la mezcla asfáltica en caliente empleando el aparato marshall.
- ✦ Establecer teóricamente los efectos que tiene la humedad en las mezclas asfálticas mediante la bibliografía consultada.
- ✦ Caracterizar la muestra sometida a condiciones de humedad estableciendo la influencia de la presencia de humedad durante el periodo de ensayo.
- ✦ Realizar la dosificación de la mezcla para poder realizar un análisis de los resultados y así poder analizar la influencia sobre la susceptibilidad a la humedad, obteniendo resultados a diferentes humedades, cuya dosificación varía en porcentajes de humedad y porcentajes de aditivo antioxidante natural.
- ✦ Analizar la capacidad de deformación de la mezcla en cuanto a los parámetros según los ensayos de estabilidad y fluencia. Sometidos a condiciones de humedad.

1.6. HIPÓTESIS

Si evaluamos los efectos que va a tener la humedad en las mezcla asfáltica modificados con residuo enológico, a través de distintas condiciones de humedad, entonces podemos observar una alta incidencia de mejoras en los resultados de sus propiedades de la mezcla asfáltica siendo necesario evaluar los resultados que se obtengan en busca de emplear criterios hallados.

1.7. DEFINICIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

Variable independiente Mezclas asfálticas modificadas con residuo enológico en diferentes porcentajes.

Variable dependiente Propiedades de la mezcla asfáltica ante condiciones como ser:

- ✦ Inmersión
- ✦ Peso volumétrico
- ✦ Estabilidad

+ Fluencia

+ Porcentaje de humedad

1.7.1. Conceptualización y operacionalización de variables

Tabla 1.1 Variable independiente

Variable nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor acción
<p><u>Variable independiente</u></p> <p>Mezclas asfálticas modificadas</p>	<p>Se refiere a la modificación que se realiza al aplicar los distintos porcentajes de residuo enológico que se adiciona a la mezcla asfálticas</p>	Cemento asfáltico	Caracterización	Penetración
				Viscosidad
				Punto de inflamación
				Ductilidad
				Punto de ablandamiento
				Peso específico
		Dotación de residuo	% de residuo enológico de origen natural.	Valores adoptados de cepa tinta (uva

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2 Variable Dependiente

Variable nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor acción
Variable dependiente Propiedades ante condiciones de humedad variables	Se refiere al análisis ante condiciones húmedas, principalmente la valoración de estabilidad, deformación que tendrá la mezcla asfáltica modificada así como su comportamiento ante los distintos porcentajes de residuo enológico aplicado	Propiedades	Peso volumétrico	Valores medidos
			Estabilidad	Método marshall
			Fluencia	Método marshall
		Medición de humedad	Ensayos de laboratorio	Ensayo de control por inmersión
				Equipo medidor de humedad testo
		Mezclas asfálticas	Briquetas	Método marshall
			Cemento asfáltico	Único tipo de ligante asfáltico.
			Agregados	Extracción de un solo lugar.

Fuente: Elaboración propia

1.8. DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación es de tipo causal o explicativo, es decir que se pretende establecer las causas de eventos, sucesos o fenómenos que se estudian.

Se centraría en explicar un fenómeno o comportamiento y las condiciones en las cuales se manifiesta, la relación de variables, indicándonos de esta manera, el enfoque del presente trabajo el cual estudiará cómo afecta las diferentes condiciones de humedad ante una mezcla asfáltica modificada con aditivo de residuo enológico.

1.8.1. Unidad de estudio y decisión muestral

1.8.1.1. Unidad de estudio

Mezcla asfáltica modificada no convencional ante diferentes condiciones de humedad.

- + Estabilidad
- + Fluencia
- + Peso volumétrico
- + % de humedad

1.8.1.2. Población

Mezclas asfálticas modificadas con diferentes porcentajes de aditivo antioxidante, cascara de orujo, proveniente del residuo enológico.



Se realizara diferentes gradaciones entre mezclas asfálticas y el aditivo, dentro de la población en el punto continuo, se explica los métodos y valores obtenidos tanto para la población como la muestra.

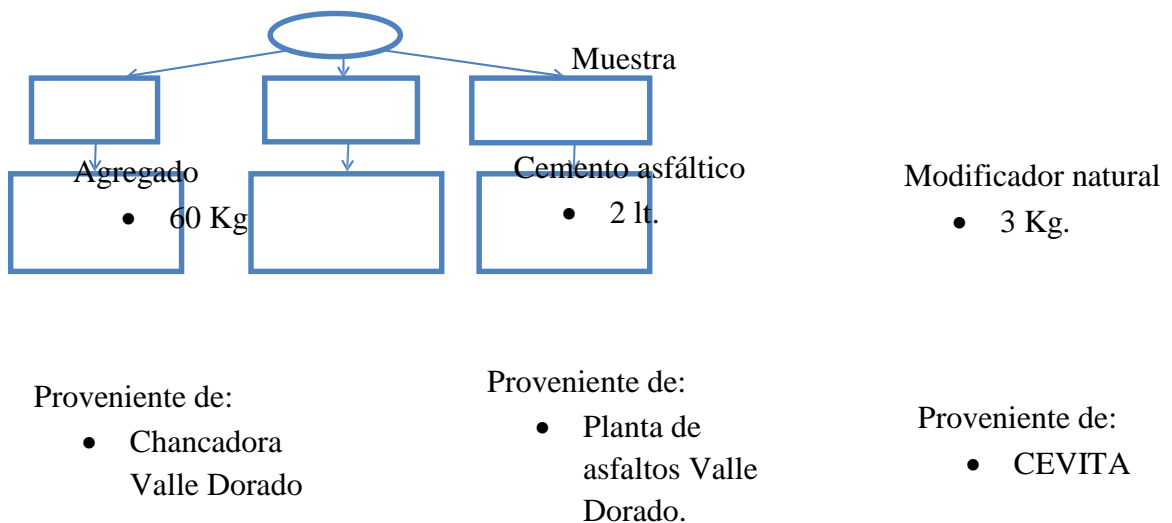
1.8.1.3. Muestra

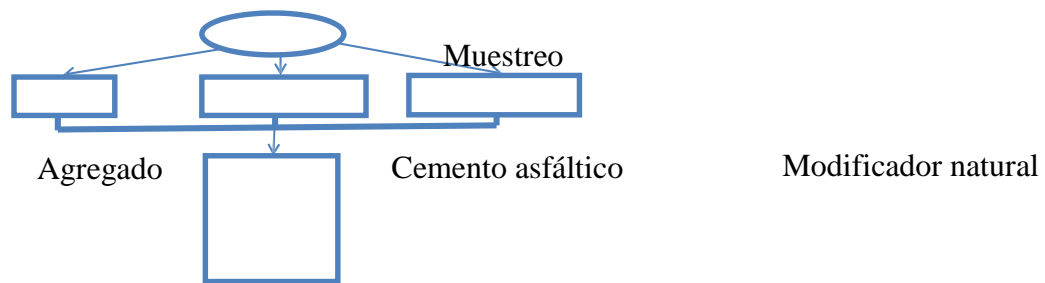
- ✦ Agregado.- Son provenientes de la planta chancadora Valle Dorado ubicada en Bermejo, teniendo como punto de extracción el río Bermejo, aproximadamente 60 Kg.
- ✦ Cemento asfáltico.- Aproximadamente se utilizara 2 lt. aprox. El presente cemento asfáltico es de PROBISA CA 60 – 70, proporcionado por la planta de asfaltos zona Valle Dorado.
- ✦ Modificador natural.- Se utilizará el residuo enológico aproximadamente 3 Kg. el cual es proporcionado por CEVITA

1.8.1.4. Muestreo

Eligiendo para la investigación el triturado de Valle Dorado. Se utilizará un solo tipo de cemento asfáltico convencional de procedencia chilena PROBISA 60-70 y tres combinaciones de modificadores enológicos en 3, 8 y 15%. Con aditivo pulverizado de cascara de orujo.

La obtención del cemento asfaltico será mediante el Barril N°3257 Cod:399 de muestreo que se realice y los demás componentes como ser el modificador enológico natural.



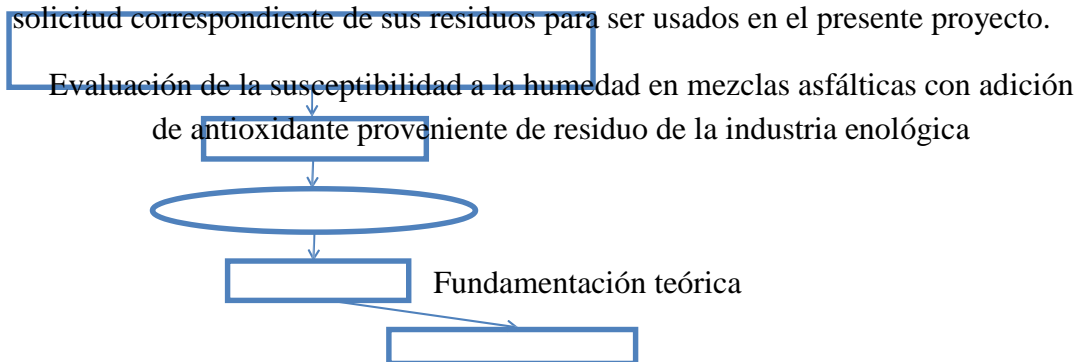


Porcentaje de aditivo

- 3 %
- 8 %
- 15 %

1.8.1.5. Justificación de factibilidad: Recursos, insumos y medios utilizables

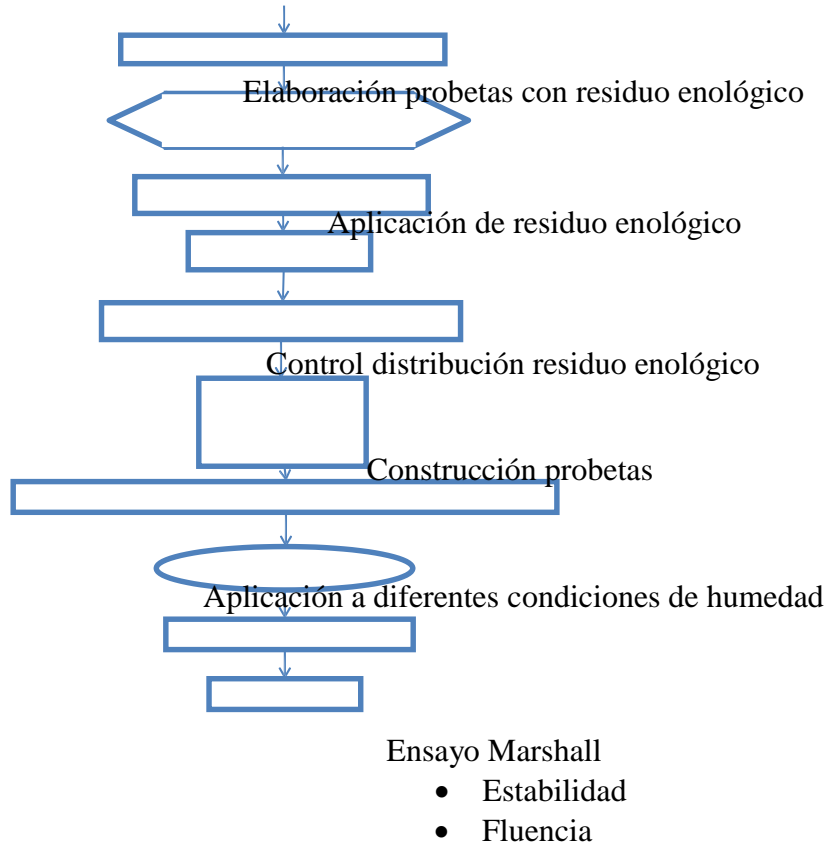
Recursos.- Los componentes del diseño de mezcla asfáltica como ser el cemento asfáltico, obtenido de la planta de asfaltos de Bermejo que cuentan con turriles provenientes de PROBISA, los áridos fueron recepcionados de la planta chancadora Valle Dorado de Bermejo, en cuanto al aditivo se pudo adquirir mediante CEVITA (centro vitivinícola de Tarija) el cual al ser una industria enológica se realizó la solicitud correspondiente de sus residuos para ser usados en el presente proyecto.



Procedimiento de aplicación

Ensayos de laboratorio





Comparación de resultados obtenidos, con y sin sometimiento a humedad

Resultados obtenidos

Conclusión en base a resultados

Recomendaciones

1.9. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Como alcance general el presente proyecto a realizar “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en mezcla asfáltica con adición de antioxidante proveniente de residuo de la industria enológica” se tiene como fin el establecer una solución apropiada para la obtención de resultados o valores óptimos para la

resistencia en cuanto a susceptibilidad a la humedad mediante ensayos de laboratorio, para que la misma pueda ser aplicado como referencia o una nueva alternativa de un sistema de evaluación mediante la aplicación de este antioxidante natural en la elaboración de proyectos de nuestro departamento, para contrarrestar la susceptibilidad a la humedad en mezclas asfálticas.

En la primera parte, se describe de manera general de que se trata la investigación para la evaluación de la susceptibilidad a la humedad en mezcla asfáltica con adición de antioxidante proveniente de residuo de la industria enológica. Se describe también las características, su composición y las dosificaciones mínimas que se empleará en el presente proyecto de investigación.

La segunda parte de la investigación, comprende la parte teórica, donde se detalla las características y efectos del sometimiento a diferentes condiciones de humedad de la mezcla asfáltica de pavimento flexible, donde se aplicará una metodología que permita evaluar la susceptibilidad a la humedad en mezclas asfálticas lo cual es el objeto de investigación de este proyecto de grado.

En la tercera parte, se describen los materiales y la metodología seguida para la realización de los diferentes ensayos realizados para la evaluación de diferentes condicionamientos de humedad. Se describe también el proceso de fabricación y acondicionamiento de las probetas para cada ensayo.

También se realiza el análisis y los criterios de aceptación de los resultados obtenidos y comparados.

Finalmente, se verifica si se cumplió o no con lo planteado en los objetivos de acuerdo al análisis de los resultados y las recomendaciones para la correcta ejecución de este proyecto.

2. CAPÍTULO II ASPECTOS GENERALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

2.1. INTRODUCCIÓN

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

2.2. ASFALTO

El asfalto es un material cómo se sabe muy susceptible a los cambios de temperatura, sufre deterioro por intemperismo, es afectado por la oxidación y la fotodegradación. Sus propiedades mecánicas son limitadas frente a diversos factores: es quebradizo a bajas temperaturas y fluye un poco arriba a la temperatura del medioambiente, además de tener una baja recuperación elástica, lo que limita ampliamente su rango de utilidad.

Por estas razones el material asfáltico en ocasiones tiene que ser modificado mediante la adición de un agente para mejorar sustancialmente sus propiedades reológicas, es decir, que mejoren su comportamiento para una amplia gama de condiciones de temperatura o de aplicación de las cargas.

2.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráficos pesados intensos.

Fig. 2.1 Pavimento en buen estado



Fuente: <http://www.carreterasestocolmo.com>

Mezclas asfálticas en caliente.- Compuestas de material pétreo, filler y asfalto caliente (aprox. hasta 163°C), por lo general están constituidas por el 93 - 97% de material pétreo y un 6 - 7% de asfalto. Se emplean tanto en la construcción de carreteras, cómo de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura cómo para capas inferiores del pavimento. (Brown et al, 1974).

Mezclas asfálticas semi-calientes o tibias.- Estas mezclas son conocidas también cómo Warm Mix Asphalt (WMA) y son mezclas que siguen el mismo patrón que las mezclas convencionales, con la salvedad de que el agregado se calienta a una temperatura de 60°C - 70°C y el asfalto de 60°C - 80°C. La finalidad de su elaboración es obtener una mezcla de rápida fabricación con un buen módulo de elasticidad. (Brown et al, 1974).

Mezclas asfálticas en frío.- Su composición suele ser por lo general material pétreo y ligante asfáltico y la puesta en obra tiene que ser a temperatura ambiente. Por lo general tiene una temperatura menor a los 60°C y el volumen de vacíos es mayor al 6%. Estas mezclas son altamente trabajables después de su fabricación incluso durante semanas y esto se debe a un fluidificante incorporado en el asfalto, proporcionándole una viscosidad baja. El endurecimiento de esta mezcla es rápido ya que al colocarlo el fluidificante se evapora. (Brown et al, 1974).

Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura.- La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, comfortable

y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario. Por ejemplo, en los países fríos, en particular en el centro de Europa, se han desarrollado mezclas muy impermeables y ricas en mortero. Si estas mezclas no proporcionan la textura adecuada, se recurre a procedimientos ajenos a la propia mezcla como son la incrustación en la superficie de gravillas o al abujardado en caliente. En las capas de rodadura el uso de agregados de alta calidad y de aditivos se justifica por las solicitaciones a que están sometidas. Actualmente la modificación de ligante se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados es absolutamente imprescindible, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento.

Para obtener una mezcla de calidad, ésta debe poseer las propiedades siguientes:

Estabilidad, durabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al deslizamiento, impermeabilidad y trabajabilidad.

Estabilidad.- Es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito. La carpeta asfáltica debe de ser capaz de mantener su forma y textura ante las secuencias de carga que a diario le son impuestas. La fricción interna depende de la textura superficial, graduación del agregado, forma de la partícula, densidad de la mezcla, y, del contenido y tipo de asfalto. La estabilidad es función de la fricción y la resistencia inter-bloqueada del agregado en la mezcla. Cuando sobrepasamos el nivel óptimo de asfalto la película es demasiado gruesa y esto genera que la cohesión decrezca, resultando en pérdida de fricción entre las partículas que componen la mezcla asfáltica. Es importante que las partículas que componen el agregado sean angulares y ásperas en su textura superficial, esto dará una alta estabilidad a la mezcla.

Durabilidad.- Es la propiedad de una mezcla asfáltica para resistir los efectos perjudiciales causados por el agua, aire, temperatura y las cargas debidas al tráfico. Estos efectos perjudiciales provocan desintegración del agregado, cambio en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), segregación, etc. Puede mejorarse la durabilidad de una mezcla asfáltica de tres maneras:

a) Utilizando un contenido óptimo de asfalto: se aumenta la durabilidad de la mezcla ya que las partículas del agregado están cubiertas por una película gruesa de asfalto. Esto evita el deterioro inmediato y el endurecimiento del asfalto, reteniendo por más tiempo las características originales tanto del asfalto como de los agregados.

b) Utilizando una graduación densa: esto proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, mejorando así la impermeabilidad de la mezcla.

c) Diseñar y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad: esto se logra mediante la compactación por medios mecánicos utilizando maquinaria y equipo adecuado.

Flexibilidad.- Es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamiento, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y sub-base. Los asentamientos en el pavimento pueden ocurrir debido a que falle cualquiera de sus componentes. Provocando daños visibles en la carpeta de rodadura.

De hecho, todas las estructuras tienden a tener asentamientos diferenciales. La flexibilidad de las mezclas asfálticas es incrementada agregando mayor contenido de asfalto, hasta llegar al contenido óptimo, a partir de éste, si se aumenta en exceso el contenido de asfalto la carpeta tiende a ser extremadamente flexible y provoca entonces una mezcla con estabilidad baja. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos. Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

Resistencia a la fatiga.- Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir la flexión repetida causada por las cargas de tránsito. Si el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Por tal razón, las mezclas asfálticas de graduación densa presentan mayor resistencia a la fatiga que las mezclas asfálticas de graduaciones abiertas. El endurecimiento del asfalto en la carpeta de rodadura da como resultado menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, influyen determinadamente en la vida útil de una carpeta de rodadura asfáltica. Si la carpeta asfáltica presenta buena resistencia a la fatiga y la sub-base está mal compactada, se verán claramente los asentamientos y la resistencia a la fatiga disminuye considerablemente. Caso contrario si la sub-base está bien compactada y la carpeta asfáltica presenta mala resistencia a la fatiga la carpeta se dañara. Por lo anterior, el pavimento debe trabajar en conjunto para que pueda resistir la flexión causada por el tránsito.

2.4. MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS

Es un asfalto al cual se le ha añadido de manera homogénea y estable, cierto porcentaje previamente analizado de algún tipo de aditivo, para mejorar sus propiedades reológicas.

.Los asfaltos modificados proporcionan un mayor rango de temperaturas de servicio, permitiéndonos mejorar sus propiedades en la construcción de nuestras vías, confiriendo un aumento sustancial de sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad.

Fig. 2.2 Pavimento en mal estado



Fuente: <http://www.pavimentosdañados.com>

Los asfaltos modificados mediante la aplicación de residuos enológicos, por ser una antioxidante, se estima que se encontrará mejoras en las propiedades mecánicas y reológicas respecto a la susceptibilidad a la humedad; disminuyendo la susceptibilidad térmica y deterioro debido a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia entre los agregados pétreos y el cemento asfáltico, mejorando el desempeño y resistencia de las mezclas asfálticas frente a las deformaciones producto de los esfuerzos de tensión repetitivos, falla por fatiga y agrietamiento.

2.5. OXIDACIÓN

La oxidación es el fenómeno en el cual el oxígeno actúa sobre los constituyentes más reactivos del asfalto manifestándose principalmente como endurecimiento, pérdida de la consistencia viscoelástica, fisuración y agrietamiento del asfalto. Algunos asfaltos se deterioran más rápido y se endurecen más que otros. Éste hecho resulta en la necesidad de caracterizar la resistencia de los asfaltos a la oxidación, para luego tener en cuenta esta resistencia a la hora de seleccionar asfaltos para pavimentos y predecir su comportamiento en el largo plazo. El deterioro de una mezcla asfáltica, se manifiesta por la pérdida de las propiedades fisicoquímicas del material. Los asfaltos experimentan durante el tiempo de mezclado y servicio un proceso de oxidación debido a factores como temperatura, presión y tiempo, relacionan que el asfalto está

compuesto por una mezcla compleja de hidrocarburos, la temperatura hace que la composición química cambie gradualmente, haciendo que a la vez cambien las propiedades físicas que torna el asfalto de una consistencia semisólida a fluida. Esto, unido a las reacciones de oxidación de los componentes del asfalto cuando interaccionan con el oxígeno de la atmósfera, constituyen el fenómeno conocido como envejecimiento oxidativo de los asfaltos, el cual determina los cambios fisicoquímicos que a su vez son la base para la caracterización de los ligantes.

2.6. PROCESO PRODUCTIVO RESIDUO ENOLÓGICO

En esta sección se describirá en forma muy general, en qué consiste el proceso productivo del vino, el cual difiere para vinos tintos y blancos, siendo esta diferencia fundamental respecto de las características del residuo (orujo) que deja el proceso.

El proceso productivo del vino se inicia con la cosecha de la uva, la cual se encuentra en forma de racimos. Éstos son procesados por un equipo denominado descobajador, cuya función consiste en separar los granos de uva de la parte leñosa del racimo, comúnmente llamada escobajo. Posteriormente, los granos de uva pasan por rodillos que rompen suavemente el hollejo liberando el jugo de los granos de uva, sin romper las pepas para evitar la liberación de sustancias que aportarían sabores indeseados al jugo.

Luego de pasar por los rodillos, el total de la vendimia (jugo y hollejos de uva) es enfriado para conservar la materia prima óptima y evitar la evaporación de sustancias aromáticas.

Recolección, almacenamiento y preparación del modificador antioxidante.

El criterio de utilizar residuo enológico tinto está basado en un estudio previo titulado “Control del envejecimiento del asfalto a través de la adición de polvo deshidratado de orujo, bioproducto de la industria enológica”, en el cual indica que el residuo enológico tinto es el más recomendado que el blanco, debido a que presente mejores reacciones y propiedades en la comparación que realizó el estudio mencionado.

2.7. COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

El equilibrio es importante ya que cualquier exceso por parte de uno de estos componentes podría perjudicar la estructura, es por ello que al momento de diseñar se toma en cuenta factores como: la buena dosificación del asfalto y la buena gradación de los agregados.

El pavimento asfáltico puede tener una vida útil de hasta 20 años siempre que se tenga un adecuado control tanto en la dosificación, construcción y mantenimiento de todos los elementos que componen la estructura del pavimento.

2.8. AGREGADOS

El material que compone los agregados debe provenir de piedra chancada, grava chancada o escoria chancada, con o sin arena u otro agregado mineral inerte finamente dividido. Se separarán los agregados de acuerdo a su granulometría:

La granulometría para el agregado de la mezcla se debe ajustar a una de las tres bandas de trabajo distintas.

Las distintas fracciones de los agregados deberán ser uniformemente graduados combinados en tales proporciones que llenen los requisitos de graduación de la fórmula de la mezcla de trabajo.

Cuando los agregados pétreos son hidrofílicos (tienen afinidad al agua) el agua tiende a desplazar la película de asfalto y se provoca la desintegración.

En las mezclas asfáltica el agregado pétreo compone, en general, un 95% del peso total de la misma (incluyendo el filler de aporte), y por ende no es raro de esperarse que se establezcan ensayos de aceptación mínimos para el cumplimiento tanto estructural y resistente como duraderos de la mezcla. Entre ellos tenemos:

Asimismo se considera la necesidad de la elección y buen manejo de los agregados en cuanto a su gradación, forma, resistencia, etc., ya que influyen en forma determinante para la deformación permanente.

2.8.1. Caracterización para determinar sus propiedades.

2.8.1.1. Desgaste mediante la máquina de los ángeles (AASHTO T-96)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³, mediante la máquina de los ángeles.

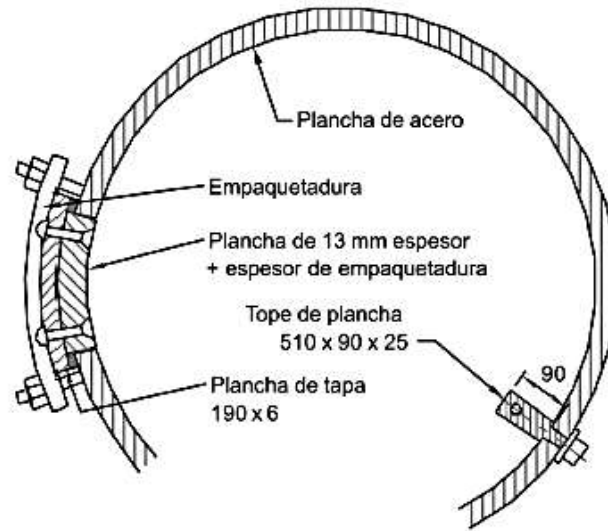
Acondicionamiento de la muestra de ensaye.- Lave la muestra y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 ° C. Tamice la muestra obtenida, de acuerdo con el Método A0506, empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm y 2,36 mm. Deje el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado. Elija de la Tabla 2.1 el grado de ensaye que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para el ensaye el que entregue una mayor suma.

Tabla 2.1 Datos de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)

Tamaño de Partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
	Tamaño de las fracciones (g)						
75 - 63	2.500 ± 50						
63- 50	2.500 ± 50						
50 -37,5	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 - 25		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25 - 19			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3						2.500 ± 10	
6,3 - 4,75						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- número	12			12	11	8	6
- masa (g)	5.00 ± 25			5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Numero de revoluciones	1.000			500			

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras A.B.C.

Fig. 2.3 Diseño tope de plancha



Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras A.B.C.

2.8.1.2. Método de los sulfatos para determinar la desintegración (AASHTO T104)

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los áridos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³ que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

Tamaño de la muestra de ensaye para árido Fino.- Pase previamente por el tamiz de 4,75 mm. Cuando el material retenido exceda el 5% de la muestra, ensaye de acuerdo con el árido grueso, luego Prepare la muestra con el material que pasa por el tamiz de 4,75 mm; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Tamaño de la muestra de ensayo árido fino

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción(g)
1	4,75 – 9,5	100
2	2,36 – 4,75	100
3	1,18 - 2,36	100
4	0,6 - 1,18	100
5	0,3 - 0,6	100

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras A.B.C.

Tamaño de la muestra de ensaye para árido Grueso.- Pase previamente por el tamiz de 2,36 mm. Cuando el material que pasa exceda el 5 % de la muestra, ensaye de acuerdo con el árido fino, luego prepare la muestra con el material retenido en el tamiz de 2,36 mm para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla 2.3

Tabla 2.3 Pétreo grueso

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de la subfracción (g)	Masa de la fracción (g)
1	50 - 63	3.000 ± 300	5.000 ± 300
	37,5 - 50	2.000 ± 200	
2	25 – 37,5	1.000 ± 50	1.500 ± 50
	19 – 25	500 ± 30	
3	12,5 - 19	670 ± 10	1.000 ± 10
	9,5 - 12,5	330 ± 5	
4	4,75 - 9,5	300 ± 5	300 ± 5
5	2,36 – 4,75	100 ± 5	100 ± 5

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras A.B.C.

2.8.1.3. Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción en áridos gruesos (AASHTO T85)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Es aplicable a los áridos

gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

La cantidad mínima de muestra para el ensaye se determina según la Tabla 2.4 en función del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 2.4 Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5	2.000
19	3.000
25	4.000
37,5	5.000
50	8.000

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras A.B.C.

Se determina la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas. Además que se expresa las densidades en kg/m³, aproximando a 1 kg/m³ y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

Los valores son aceptables en la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos gruesos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas, sea:

- ▬ Igual o inferior que 20 kg/m³ en la determinación de densidades.
- ✦ Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

2.8.1.4. Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción en áridos finos (AASHTO T84)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Se determina la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido fino se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas. En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensayo por separado de sus dos fracciones.

Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos finos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas sea:

- Igual o inferior que 20 kg/m^3 en la determinación de densidades.
- ✦ Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

2.8.1.5. Métodos para determinar la densidad aparente (AASHTO T-19)

Éste método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Procedimiento por apisonado.- Se aplica a áridos de tamaño nominal igual o menor que 50 mm. Primero llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de árido por sobre el borde de la medida. Luego Empareje cada capa y compacte mediante 25 golpes de pisón uniformemente repartidos. Apisone la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida. Apisone las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior. Elimine el exceso de árido empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar. Determine y registre la masa (kg) del árido compactado que llena la medida, aproximando al 0,1%.

Procedimiento por percusión.- Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal o superior que 50 mm e igual o inferior que 100 mm. Primero llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de

árido por sobre el borde de la medida. Luego empareje cada capa. Compacte cada capa levantando la medida alternativamente por sus asas opuestas, a una altura aproximada de 5 cm. y dejándola caer contra una base firme (por ejemplo un pavimento de hormigón). Repita hasta completar 50 percusiones dejando caer la medida 25 veces de cada asa. Elimine el exceso de árido empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar. Determine y registre la masa (kg) del árido compactado que llena la medida, aproximando al 0,1%.

Determinación de la densidad aparente suelta.- Procedimiento por simple vaciado

Se aplica a los pétreos de tamaño máximo nominal igual o inferior que 100 mm. Éste procedimiento es también aplicable a los pétreos finos en estado húmedo. Primero llene la medida con una pala, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior de la medida. Luego desplace la pala o poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado. Elimine el exceso de árido empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar y determine y registre la masa (kg) del árido suelto que llena la medida aproximando al 0,1%.

Acepte la determinación de cada densidad aparente cuando la diferencia entre los dos resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior que 30 kg/m^3 .

2.8.1.6. Métodos para determinar el equivalente de arena (AASHTO T-176)

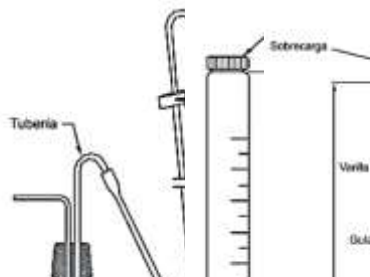
Éste método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4). Siendo éste el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas. El lugar de ensayo debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

Coloque la botella del sifón con la solución de ensaye a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo, luego sifonee la solución de ensaye en la probeta hasta que

alcance un nivel de 100 ± 5 mm ahora obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida. Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.

Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min. Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo. Agite la probeta y su contenido en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 s. Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador. Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material. Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm. Deje sedimentar por un periodo de $20 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$. Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla aproximando al milímetro. Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena aproximando al milímetro.

Fig. 2.4 Ensayo equivalente de arena



Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras A.B.C.

2.9. CEMENTO ASFÁLTICO

Éste material al ser viscoso permite que, al elaborar una mezcla asfáltica en caliente, las partículas se unan de manera homogénea, dando así al pavimento propiedades específicas, tanto físicas como químicas, para el buen funcionamiento del mismo. Como aplicación de estas propiedades, el asfalto puede cumplir con:

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

A parte es necesario tener en cuenta que el asfalto es termoplástico por lo que su funcionamiento a altas temperaturas, es importante para describir su grado de fluidez o plasticidad.

- + A altas temperaturas ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$), el cemento asfáltico actúa como un líquido viscoso, es decir, tiene un comportamiento plástico. Se emplea para expresar la diferencia entre las fuerzas resistentes y la velocidad relativa con que fluye una capa con respecto a otra en el cemento asfáltico caliente
- + A bajas temperaturas ($<0\text{ }^{\circ}\text{C}$) o bajo cargas aplicadas rápidamente, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico; cuando es cargado se deforma y cuando es descargado regresa a su forma original.

Fig. 2.5 Cantidad de asfalto en diferentes tiempos y diferentes temperaturas.



Fuente: <http://www.pavimentosdañados.com>

Contenido de asfalto: El contenido de asfalto es el porcentaje en peso que corresponde al cemento asfáltico que compone la mezcla. Es la suma entre el asfalto efectivo y el asfalto absorbido por los agregados (asfalto absorbido). El porcentaje óptimo de contenido de asfalto está en función de la granulometría y la capacidad de los agregados para absorber asfalto. Asfaltos más porosos, menos densos, requieren menor porcentaje de asfalto que otras mezclas más densas con mayor contenido de agregados minerales.

Cuando existe demasiado asfalto en la mezcla, esta lubrica las partículas disminuyendo de ésta manera la fricción que se produce entre ella, como lo muestra la Figura 2.6. Y 2.7

Fig. 2.6 Buena fricción y cohesión



Fig. 2.7 Poca fricción y mucha cohesión



Fuente: Universidad Ricardo Palma comportamiento mecánico de las mezclas

Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación.- La temperatura de los agregados deberá superar en 20°C a la del cemento asfáltico durante la mezcla, la Planta de Ingeniería de Vías proporciona los valores de mezcla de los agregados con el cemento asfáltico siendo la temperatura para el cemento asfáltico de 148°C y la temperatura de los agregados de 168°C aproximadamente.

Si un cemento asfáltico registra una viscosidad muy baja (muy fluido) a las altas temperaturas de servicio, se pueden generar ahuellamientos. Si por el contrario, el cemento asfáltico presenta altas viscosidades (muy viscosos) a bajas temperaturas de servicio, habrá fisuramientos. Lo anterior va unido a los cambios en el sistema coloidal que pudieran presentarse durante la elaboración de la mezcla en planta.

2.9.1. Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades.

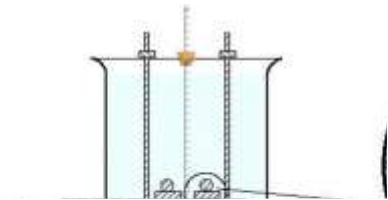
2.9.1.1. Muestreo de asfalto

La única manera de saber si el cemento asfáltico entregado en la planta cumple con las especificaciones, es tomar muestras del material y hacerlas ensayar en el laboratorio. Las muestras deben ser representativas del cargamento total para poder obtener resultados confiables. Es muy probable que se obtengan resultados engañosos en los ensayos si las muestras están alteradas o contaminadas. Tales resultados podrían ser usados para rechazar un cargamento completo de cemento asfáltico, aun cuando el asfalto esté cumpliendo con las especificaciones.

2.9.1.2. Punto de ablandamiento

Los asfaltos son materiales termoplásticos, que son afectados por los cambios de temperatura y se ablandan conforme la temperatura aumenta, puesto que no poseen un punto de fusión determinado, sino que se ablandan gradualmente, se calcula el punto de ablandamiento que se define como la temperatura que necesita el asfalto para alcanzar un determinado estado de fluidez.

Fig. 2.8 Gráfica del ensayo de ablandamiento



Fuente: Criterios de valorización de capas asfálticas en caliente Ing. Nieto Juan Pablo

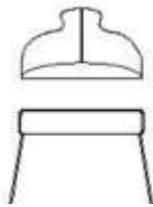
2.9.1.3. Peso específico

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada el cual no se indica normalmente, en las especificaciones de la obra. De todas maneras, hay dos

razones importantes por las cuales se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

- ✦ El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas.
- ✦ El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios de aire) de un pavimento compactado.

Fig. 2.9 Gráfica del ensayo de peso específico

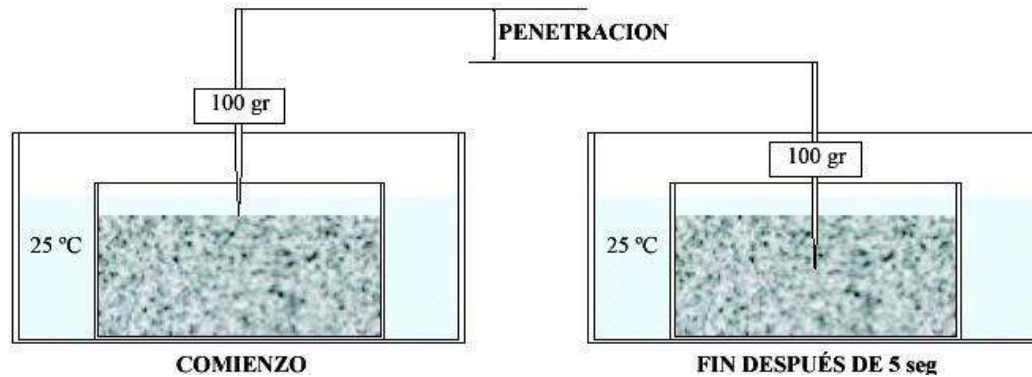


Fuente: Criterios de valorización de capas asfálticas en caliente Ing. Nieto Juan Pablo

2.9.1.4. Penetración

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25 °C. Éste es un ensayo aplicable tanto a cementos asfálticos sólidos como a residuos de destilación de asfaltos líquidos, en donde se determina la consistencia del producto bituminoso. Los asfaltos presentan a temperaturas moderadas, viscosidades muy altas que no pueden cuantificarse con equipos convencionales, esta prueba busca determinar la dureza del asfalto a diferentes temperaturas.

Fig. 2.10 Gráfica del ensayo de penetración

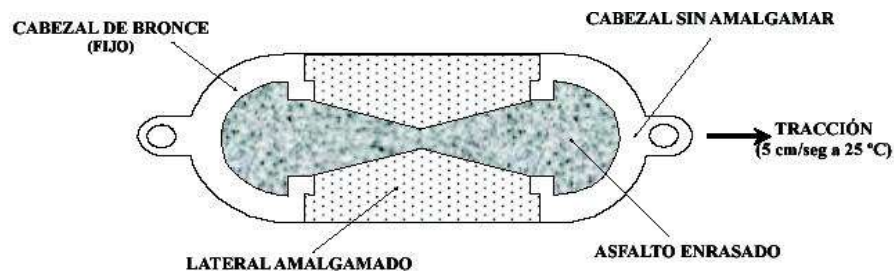


Fuente: Criterios de valorización de capas asfálticas en caliente Ing. Nieto Juan Pablo

2.9.1.5. Ductilidad

Algunos ingenieros consideran que la ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Sin embargo, generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura. Es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

Fig. 2.11 Gráfica del ensayo ductilidad



Fuente: Criterios de valorización de capas asfálticas en caliente Ing. Nieto Juan Pablo

2.10. ESPECIFICACIONES Y NORMAS UTILIZADAS AASHTO

Las especificaciones y tolerancias que se tienen que tener en cuenta en el diseño, por ello cuando se dan valores demasiados altos, se producen pavimentos excesivamente rígidos y por ende menos durables.

Tabla 2.5 Resumen especificaciones para agregados

Características de los agregados				
Ensayo	Unid.	Especificaciones		Designación AASHTO
		Mínimo	Máximo	
Peso específico agregado grueso	gr./cm ³			T-84
Peso específico agregado fino	gr./cm ³			T-85
Peso específico agregado < N°200	gr./cm ³			T-96
Desgaste de los ángeles (C)	%		40	T-96
Durabilidad agregado grueso	%		12	T-104
Durabilidad agregado fino	%		12	T-104
Granulometría	%			T-27
Equivalente de arena	%	45		T-176

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.6 Resumen especificaciones para el cemento asfáltico

Cemento asfáltico				
Ensayo	Unidad	Especificaciones		Designación AASHTO
		Mínimo	Máximo	
Peso específico	gr./cm ³	1	1,05	T-227
Penetración	0,1 mm	60	70	T-49
Viscosidad saybolt:				
'25° C.	seg.			T-72
'135° C.	seg.	85		T-72
Punto de inflamación	°C	232		T-78

Fuente: Elaboración propia

2.11. CONDICIONES DE HUMEDAD

El daño por humedad en mezclas asfálticas se puede definir como el deterioro de la capacidad estructural de la mezcla causada por la presencia de agua en estado líquido o gaseoso al interior de su microestructura.

El transporte de agua y manifestación de daño por humedad en mezclas asfálticas

Los mecanismos de daño por humedad en mezclas asfálticas se inician con los modos de transporte mediante los cuales la humedad alcanza el interior de la estructura del material y culminan con las diversas manifestaciones de éste deterioro.

Existen tres modos principales de transporte de humedad al interior de las mezclas asfálticas en un pavimento:

- a) Aplicación de humedad desde la superficie del pavimento hacia el interior de la mezcla a través de vacíos interconectados
- b) Difusión de humedad y/o vapor de agua a través de los componentes constitutivos de la mezcla
- c) Ascensión capilar de humedad proveniente de la superficie inferior de la mezcla.

La manifestación más común del deterioro causado por la presencia de la humedad al interior de una mezcla en pavimentos flexibles se conoce como “stripping” o “pérdida del recubrimiento” de cemento asfáltico de la superficie de los agregados. El segundo tipo de manifestación más común consiste en el desprendimiento progresivo de los agregados de la superficie de la mezcla causado por el paso de las llantas de los vehículos sobre el material asfáltico (conocido internacionalmente como “raveling”). Estos dos tipos de manifestaciones de daño tienen en común la pérdida de las propiedades de adhesión en la interfase agregado-cemento asfáltico.

Las condiciones de humedad a las cuales serán sometidas las briquetas de diferentes porcentajes de aditivo se realizarán de forma manual

Al comparar el comportamiento de los diferentes cementos asfálticos considerados en el ensayo modificado en medio húmedo, con respecto a su respuesta frente al ensayo normal, y un ambiente húmedo lo más extremo posible, se observa un aumento en las deformaciones en cuanto a sus propiedades tanto la estabilidad como la fluencia, en aproximadamente un 100%, con respecto a las obtenidas en el ensayo normal, dentro del periodo estándar.

El presente ensayo constará de modificar manualmente el ambiente de humedad de las briquetas realizadas en laboratorio, tanto en briquetas modificadas con Aox al 3 %, al 8% y al 15 % además de las briquetas sin aditivo, se realiza una simulación de inmersión similar al de equipos especializados cuyo objetivo es someter a cierta humedad las briquetas, pero debido a la falta de estos equipos en Tarija, es que se realizó de manera manual el acondicionamiento de las briquetas. Para conocimiento de futuros investigadores respecto al tema se les menciona a continuación algunos de

los ensayos cuyo objetivo está enfocado al estudio del daño por humedad en mezclas asfálticas calientes con el uso de equipos para evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente ante la deformación permanente, existen variados tipos de ensayos en pista del tipo “Wheel Tracking”, estos ensayos simulan el paso de vehículos a través de una rueda cargada. En Chile el ensayo más utilizado para determinar el comportamiento de mezclas asfálticas en deformación permanente es el que ha adoptado el Manual de Carreteras, correspondiente a la norma española NLT-173/84. Éste ensayo evalúa las deformaciones permanentes que se producen en probetas sometidas a cargas cíclicas del tipo vaivén de una rueda cargada, bajo condiciones de temperatura y humedad controlada (humedad ambiental). De esta manera poder evaluar la influencia de la presencia de agua superficial durante el periodo de ensayo, en la tasa de deterioro de la carpeta asfáltica como también el comportamiento en deformación permanente de un cemento asfáltico modificado con residuo enológico sin aditivo y otro con aditivo mejorador de resistencia al daño por humedad, bajo las condiciones de ensayo seco (de acuerdo ensayo Marshall), medio y Húmedo.

Los equipos desarrollados difieren según su procedencia en sus características, pudiendo algunos realizar el ensayo en aire (condición seca, de acuerdo ensayo Marshall en baño María) o en condición media (briquetas sometidas a cierto grado de humedad en el ambiente). Y briquetas en Húmeda. El ensayo de Hamburgo permite evaluar mezclas asfálticas en relación a su resistencia a la humedad y al ahuellamiento y permite el ensayo de dos muestras simultáneamente, mediante dos ruedas paralelas. Las pruebas se realizan sobre losas de 260 milímetros de ancho y 320 milímetros de largo, el espesor es variable aunque típicamente se utiliza de 40 milímetros. La temperatura de ensayo de las probetas bajo agua es variable, y ésta va desde los 25°C a los 70°C, pero la temperatura de ensayo más común es de 50°C. Se aplica una carga de 705 N sobre una rueda de acero de 47 milímetros de ancho. La rueda se desplaza hacia adelante y hacia atrás a lo largo de la superficie de la losa. El ensayo tiene una duración de 20.000 pasadas o hasta que se obtienen 20 milímetros

de deformación. La frecuencia de paso de la rueda es de 53 pasadas por minuto (26,5 ciclos por minuto) y a una velocidad de 34 cm/seg.

La simulación del acondicionamiento de humedad está enfocada respecto al ensayo Húmedo. Para realizar éste procedimiento se incluye a la máquina de ensayo, un embudo conectado a una manguera, sistema que debe permitir introducir agua a la probeta desde el exterior de la cámara termostática.

Posteriormente se saca la primera probeta y se pone en el interior de una bolsa plástica, dentro de la bolsa y sobre la probeta se coloca un paño esponja absorbente elaborado de celulosa.

En nuestro caso generamos una cámara termostática manual, en vez de cerrar en una bolsa plástica se utilizó un recipiente plástico para someter a cierta humedad las briquetas a estudiar reemplazando el paño de esponja absorbente elaborado de celulosa con un material fácil de conseguir y de igual manera absorbente el cual es el aserrín de madera, mezclando el aserrín grueso y fino para generar una buena distribución de tamaño de partículas y garantizando la mejor absorción de humedad.

El ensayo húmedo requiere cerrar la bolsa dejando espacio para conectar la manguera con la cual se incorporará agua a la probeta, posteriormente se coloca la bolsa con la probeta y el paño esponja en su interior, en uno de los moldes, con los adaptadores si es necesario (probetas circulares), luego éste conjunto se introduce en la cámara.

Se fija el molde a los anclajes siendo totalmente sellada con cinta de embalaje. Utilizando el embudo que se conecta ahora a la probeta mediante la manguera, se incorpora agua para saturar el paño esponja. La cámara se cierra por unos 30 minutos para lograr una homogeneización de la temperatura.

Luego se realiza la lectura de sus propiedades mecánicas y a continuación se levanta la rueda, se extrae la probeta y se desmonta del molde.

Para estudiar el efecto de la humedad en el ensayo, se piensa en la posibilidad de colocar una esponja que retenga agua y la libere en la probeta con el paso de la rueda, reincorporando el agua que se pierde por evaporación o por salpicar. Para ello se

realiza el estudio del efecto que produce la esponja colocada en la superficie de contacto entre la rueda y la probeta, para ello se ensayan tres probetas con una esponja seca.

Las deformaciones producidas en el ensayo a condición seca son comparadas con las que se producen en el ensayo tradicional en Aire, de donde se aprecia una disminución de las deformaciones producidas en el ensayo. Se espera una reducción de éste efecto al utilizar un ambiente Húmedo para el ensayo. El comportamiento en condición húmeda presenta deformaciones mayores que las que se originan en el ensayo en aire, lo que demuestra que la incorporación de humedad en las briquetas genera un factor desfavorable para el comportamiento en deformación permanente. Según las pruebas realizadas por el ensayo húmedo, esto se debe a que la afinidad del agua con el árido es mayor que la del ligante con el árido.

El ensayo en medio Húmedo deja muchas variables en manos del operador, como la incorporación de agua para mantener saturada la esponja y la colocación de la probeta en una bolsa con la esponja, lo que hace que sus resultados sean muy dispersos, obteniendo, mayor deformación en el ensayo de probetas de con aditivo que en las que carecen de aditivo.

Es por esta razón que se realiza un pesaje de la cantidad de aserrín que se utilizara y se calcula el porcentaje de humedad a la cual se quiere someter las briquetas con y sin aditivo para poder evitar la variabilidad de resultados, de esta manera se hará un ensayo más preciso sometiendo las briquetas a la humedad que se requiera controlando la misma en función al tiempo.

2.11.1. Acondicionamiento de briquetas

2.11.1.1. Condición seca inicial

Se efectúa el pesaje al aire de las briquetas, además de realizar la medición de altura, es menester realizar como mínimo cuatro mediciones de altura ya que la altura presente en las briquetas suele variar, de esta manera se procederá a realizar el promedio de dichas alturas para así poder obtener una referencia promedio del altura.

Posterior a estas mediciones inmediatamente se realiza la rotura de briquetas en el equipo Marshall, cabe resaltar que no se realiza el baño maría que generalmente se hace antes de lecturar estabilidad y fluencia, de éste modo el procedimiento se ejecuta en condición natural, cabe recomendar envolver con un trozo de periódico alrededor de la briqueta antes de utilizar el equipo Marshall debido a que al deformarse la briqueta, tiende a manchar el equipo. Una vez teniendo las precauciones del caso se procede a lecturar la estabilidad y fluencia de briquetas modificadas con aditivo al 0%, 3%, 8% y 15%, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico del 5.8 % en condición seca inicial o condición natural (sin sometimiento a baño maría).

Éste ensayo nos sirve como el primer patrón de referencia, lo que da énfasis a su importancia, investigando de esta manera el aumento o disminución de las deformaciones producidas en el ensayo Marshall, en cuanto a las propiedades de estabilidad y fluencia ya que las variaciones en cuanto a valores de los ensayos a condición media y condición húmeda, serán comparados con las que se producen en el ensayo tradicional en condición seca natural o condición inicial (ensayo Marshall).

2.11.1.2. Condición seca (ensayo Marshall)

Se realiza el procedimiento en condiciones normales, es decir se realiza el pesaje al aire de las briquetas, además de realizar la medición de altura, es menester realizar como mínimo cuatro mediciones de altura ya que la altura presente en las briquetas suele variar, de esta manera se procederá a realizar el promedio de dichas alturas para así poder obtener una referencia promedio del altura. Posterior a estas mediciones las briquetas serán sometidas a baño maría, controlando una temperatura de 60 °C por 5 minutos para luego realizar la rotura de briquetas en el equipo Marshall, cabe resaltar que es recomendable, envolver con un trozo de periódico alrededor de la briqueta antes de utilizar el equipo Marshall debido a que al deformarse la briqueta, tiende a ensuciar el equipo. Una vez teniendo las precauciones del caso se procede a lecturar la estabilidad y fluencia de briquetas modificadas con aditivo al 0%, 3%, 8% y 15%, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico del 5.8 % en condición seca o

condición normal. Previamente al acondicionamiento de la condición seca o normal (según ensayo Marshall), se procede al pesaje húmedo de las briquetas.

Las variaciones en cuanto a valores producidos en el ensayo a condición media y condición húmeda, serán comparados con las que se producen en el ensayo tradicional en condición seca natural (según ensayo Marshall) y la condición seca inicial (lectura Marshall sin sometimiento a baño maría), es por ello que éste ensayo nos sirve como patrón de referencia, lo que da énfasis a su importancia, investigando de esta manera el aumento o disminución de las deformaciones producidas en el ensayo Marshall, en cuanto a las propiedades de estabilidad y fluencia.

El acondicionamiento en seco o condición natural, (de acuerdo ensayo Marshall) genera un factor favorable para el comportamiento en deformación permanente

2.11.1.3. Condición Media

La simulación del acondicionamiento en condición media incluye generalmente una máquina de ensayo, un embudo conectado a una manguera, sistema que debe permitir introducir humedad a la briketa desde el exterior de la cámara.

Posteriormente se saca la primera briketa y se pone en el interior de una bolsa plástica, dentro de la bolsa y sobre la probeta se coloca un paño esponja absorbente elaborado de celulosa.

En nuestro caso generamos una cámara manual, en vez de cerrar en una bolsa plástica se utiliza un recipiente plástico para someter a cierta humedad las briquetas a estudiar, reemplazando el paño de esponja absorbente elaborado de celulosa, con un material fácil de conseguir y de igual manera absorbente, el cual es el aserrín de madera, mezclando el aserrín grueso y fino para generar una buena distribución de tamaño de partículas y garantizando la mejor absorción de humedad.

El ensayo húmedo requiere cerrar la bolsa dejando espacio para conectar la manguera con la cual se incorporará agua a la probeta, posteriormente se coloca la bolsa con la probeta y el paño esponja en su interior, en uno de los moldes, con los adaptadores si es necesario (probetas circulares), luego éste conjunto se introduce en la cámara. Se

fija el molde a los anclajes siendo totalmente sellada con cinta de embalaje. Utilizando el embudo que se conecta ahora a la probeta mediante la manguera, se incorpora agua para saturar el paño esponja.

Para estudiar el efecto de la humedad en el ensayo con la cámara manual que realizamos, se retiene agua con el material absorbente (aserrín de madera gruesa y fina) cuya humedad no se pierde fácilmente por evaporación, debido a que el recipiente se encontrara sellado. Por lo cual se realiza el estudio del efecto que produce la humedad en las propiedades de la mezcla asfáltica modificada con residuo enológico, para ello se ensayan tres briquetas cada una de diversos porcentajes de aditivo, sometiendo en total 36 briquetas., 12 briquetas serán sometidas a condiciones normales o condiciones secas (de acuerdo ensayo Marshall), otras 12 se encontraran sometidas a una condición media, es decir aproximadamente a un 50% de humedad y finalizamos con 12 briquetas sometidas a un ambiente de humedad alta aproximadamente de un 80 % de humedad.

El comportamiento en condición húmeda presenta deformaciones mayores que las que se originan en el ensayo en aire, lo que demuestra que la incorporación de humedad en las briquetas genera un factor desfavorable. Según las pruebas realizadas por el ensayo húmedo en diversos países, esto se debe a que la afinidad del agua con el árido es mayor que la del ligante con el árido.

El ensayo en medio Húmedo deja muchas variables en manos del operador, como la incorporación de agua para mantener saturada la esponja y la colocación de la probeta en una bolsa con la esponja, lo que hace que sus resultados sean muy dispersos, obteniendo, mayor deformación en el ensayo de probetas de con aditivo que en las que carecen de aditivo.

Es por esta razón que se realiza un pesaje de la cantidad de aserrín que se utilizara y se calcula el porcentaje de humedad a la cual se quiere someter las briquetas con y sin aditivo para poder evitar la variabilidad de resultados, de esta manera se hará un ensayo más preciso sometiendo las briquetas a la humedad que se requiera controlando la misma en función al tiempo.

2.11.1.4. Condición húmeda

Se realizaron las muestras de laboratorio, que posteriormente fueron sometidas

El procedimiento que se describe a continuación, fue desarrollado para las muestras de laboratorio.

Método inmersión: Por medio de éste método se obtiene un valor promedio sujetos a condiciones húmedas. Se tomaron treinta y seis (36) briquetas que se clasificaron en cuatro (3) subgrupos de acuerdo al porcentaje (%) de aditivo, para cada uno de ellos se inició el acondicionamiento respectivo. Para éste subgrupo acondicionaremos para muestras húmedas al 80 %

Posterior a éste acondicionamiento, cada una de las muestras fueron sometidas a cargas centradas y paralelas, en un plano diametral vertical a una relación de deformación en la prensa Marshall.

Se procede de la misma manera que en la condición media, cabe recalcar que para tener valores significativos de humedad se realiza la medición de la misma en cuatro puntos alrededor de la briqueta, leyendo cada 2 horas todas las briquetas sometidas a humedad, se recomienda que al leer la humedad con el equipo testo, se debe esperar por lo menos 10 segundos para que el equipo lea la humedad correcta.

De esta manera se tardará como máximo 2 minutos para realizar 4 lecturas a las diferentes briquetas en estudio.

2.12. FALLAS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS POR HUMEDAD

Durante la fase de construcción y puesta en obra de las mezclas asfálticas se pueden producir errores y fallos accidentales, como:

Exudaciones. La exudación se caracteriza por la presencia de ligante libre o polvo mineral incorporado en la superficie del pavimento. Las superficies ricas en asfalto, especialmente en tiempo húmedo, pueden llegar a ser deslizantes si han perdido su textura. Las causas de las exudaciones son las siguientes:

- + Exceso de ligante asfáltico.
- + Escaso contenido de vacíos.
- + Migración de los ligantes asfálticos de las capas inferiores debido a partes exudadas en las capas inferiores, dotaciones irregulares en los tratamientos de adherencia entre capas asfálticas y ligante asfáltico libre por mala adhesividad con los agregados pétreos.

Asentamientos Desviación longitudinal de las superficies del pavimento con relación a su perfil original. Se le considera cuando la deformación es mayor de 25 mm y compromete una longitud mayor de un paño.

Causas posibles

- a) Mala compactación y/o falta de soporte de la subrasante
- b) Asentamiento diferencial de la subrasante.
- c) Cambio volumétrico de la subrasante por modificación de su estado de humedad.
- d) Eventualmente densificación de rellenos.

Tabla de severidad apariencia

- + Ligera Cuando la deformación porcentual de la deflexión a la mitad de la longitud de onda es menor que 1.5%.
- + Moderada Cuando la deformación porcentual de la deflexión a la mitad de la longitud de onda es entre 1.5 a 2.5%.
- + Grave Cuando la deformación porcentual de la deflexión a la mitad de la longitud de onda es mayor que 2.5%.

Extensión % de la longitud de vía del tramo afectado

1. Menor Menos del 25%
2. Intermedia De 25% a 50%
3. Mayor Más del 50%

Denominación típica

Asentamiento leve que afecta menos del 20% del tramo considerado.

Bombeo Expulsión o bombeo de agua, o agua con finos, a través de juntas permeables o deterioradas, y eventualmente por grietas formadas en el pavimento.

Causas posibles

- a) Presencia de aguas superficiales que penetran bajo la losa, material de apoyo susceptible de erosionarse y tráfico frecuente de vehículos pesados.

Severidad Apariencia

- ✦ Ligera Expulsión del agua, sin finos, a través de las juntas, por acción del tráfico de vehículos pesados.
- ✦ Moderado Escasa expulsión de agua con material fino, a través de juntas o fisuras, que puede ser observada en la superficie del pavimento
- ✦ Grave Presencia importante de material bombeado en la superficie del pavimento, a través de juntas o grietas.

Extensión Observación en el tramo

Menor Menos del 25% de las juntas y grietas es afectada.

Intermedia Menos del 50% de las juntas o grietas son afectadas.

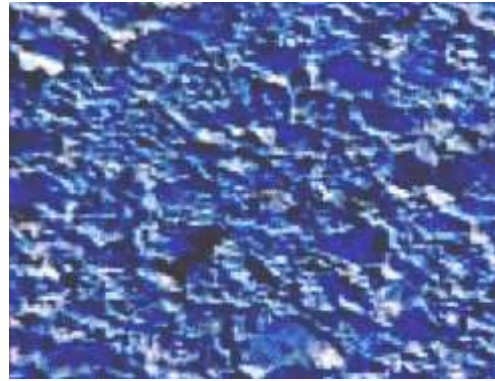
Mayor Más del 50% de las juntas o grietas resulta afectado.

✦ Denominación típica

Expulsión de agua en una junta bajo tráfico.

Fig. 2.12 Pavimento dañado 1

Fuente: www.pavimentosdañados.com

Fig. 2.13 Pavimento dañado 2

Fuente: www.pavimentosdañados.com

- ✦ La susceptibilidad al daño por humedad, desarrollando mezclas asfálticas con dos (2) tipos de ligantes (CA 80-100 y CA 60-70), fue estudiada por Rondón & Moreno (2010), donde su mayor propósito fue evaluar el efecto que causa el ligante asfáltico al daño por humedad de las muestras asfálticas. Concluyendo de dicho análisis, que la adhesión que existe entre el ligante asfáltico y el agregado pétreo, es afectado por el cambio en la consistencia que experimenta el ligante asfáltico con la presencia de humedad. Aunque el ligante asfáltico es un material impermeable y de muy baja reacción química, con la presencia de humedad o de agentes externos modifica su consistencia y aumenta su rigidez. “Lo anterior demuestra que la interfase ligante asfáltico-agregado pétreo se afecta por tal cambio de consistencia. El aumento en la rigidez causa contracción del ligante asfáltico sin cambio de volumen, lo cual podría ser una de las causas que generen el desprendimiento del cemento asfáltico con el agregado” (Rondón & Moreno, 2010, p.7). Adicionalmente concluyeron, que se deben desarrollar otras investigaciones que permitan entender con mayor claridad los resultados reportados en éste estudio, por lo que es necesario evaluar en un futuro el cambio en las propiedades químicas, reológicas y de resistencia mecánica de los ligantes y las mezclas asfálticas analizadas cuando son sumergidas en agua.
- ✦ Nieto (2010), realiza una evaluación sobre la resistencia al ahuellamiento en mezclas asfálticas en caliente, explicando que las deformaciones plásticas en las mezclas asfálticas son producidas por la acumulación de pequeñas cantidades de

deformación irre recuperable, las cuales son el resultado de cada aplicación de carga. Éste tipo de fallas se presentan en pavimentos asfálticos sometidos a condiciones ambientales como la humedad, la temperatura y especialmente a las cargas y frecuencia del tránsito, más aun cuando dichas cargas son pesadas y lentas.

La susceptibilidad a la humedad en las mezclas asfálticas ha sido un tema de constantes investigaciones durante varias décadas, específicamente el análisis en el desempeño de los materiales granulares, del ligante asfáltico, características ambientales como cambios de temperatura, cargas a que es sometido, entre otras. (Spinel, et al., 2011; Chen, et al., 2007; Airey, et al., 2007)

Las pruebas cuantitativas proporcionan un valor para un parámetro específico:

- ✦ Ensayo de inmersión en Marshall

La implementación de cualquier prueba de laboratorio para la sensibilidad a la humedad siempre requerirá calibración de los resultados con el rendimiento observado en campo como ser:

- ✦ El drenaje y la condición del sistema de drenaje
- ✦ La estructura del pavimento
- ✦ El diseño de mezcla
- ✦ El uso de aditivos, que pueden reducir la susceptibilidad a la humedad general de la mezcla
- ✦ Variabilidad de construcción
- ✦ Clima, la acción de congelación y descongelación
- ✦ Tráfico

2.13. EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El proyecto de una mezcla asfáltica requiere de un estudio cuidadoso de todos los factores involucrados, a fin de garantizar un comportamiento adecuado de la mezcla y un considerable ahorro económico en la solución.

Las fases de las que consta el proyecto de una mezcla son las siguientes:

- ✦ Materiales disponibles y elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación y su relación con la cantidad de ligante asfáltico.
- ✦ Elección del tipo de ligante (asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica); el costo es siempre un factor muy relevante. Esto será de acuerdo al tipo de mezcla, tipo de tránsito, clima.
- ✦ Dosificación o determinación del contenido óptimo de ligante según un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, la cual debe hacerse para distintas combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de manera que las granulometrías conjuntas analizadas estén dentro de un uso previamente seleccionado.

Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: exigencias de seguridad vial, estructura del camino, técnicas de diseño y ejecución, sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias, trazado de la vía, entre otros), condiciones de drenaje entre otros.

3. CAPÍTULO III INVESTIGACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE A DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD

3.1. GENERALIDADES

3.2. UBICACIÓN DE LOS MATERIALES

3.2.1. Residuo enológico

El material (residuo enológico), de aproximadamente 3 Kg extraído de la zona del Valle, de instalaciones de CEVITA. (Centro vitivinícola de Tarija), la cual es una institución productora de vinos que brinda información del cuidado y cultivo de la vid.

Fig. 3.1 Residuo enológico



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.2 Residuo semi-seco



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Agregado

Los agregados fueron adquiridos de la planta chancadora Valle Dorado (Fig. 3.3) dentro del área tropical de Bermejo, teniendo como punto de extracción el río Bermejo.

Fig. 3.3 Planta chancadora “Valle Dorado”



Fuente: Elaboración propia

Aproximadamente se retiró 60 Kg de Grava, filler y arena, los cuales al estar expuestos al intemperismo adquirieron cierta humedad, por lo que se procedió a secar el material para proceder a realizar los ensayos correspondientes.

3.2.3. Cemento asfáltico

Los componentes del diseño de mezcla asfáltica como ser el cemento asfáltico, obtenido de la planta de asfaltos de Bermejo que cuentan con turriles provenientes de procedencia PROBISA PRODUCTOS BITUMINOSOS S.A (CHILE).

Se toma la muestra de la planta asfaltadora con las precauciones correspondientes en envases metálicos como se observa en la figura 3.4

Fig. 3.4 Turriles de la planta asfaltadora y toma de la muestra cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

3.3. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

3.3.1. Ensayo de granulometría AASHTO T-27

Se procede primero a cuartear la muestra y luego se toman los opuestos, tanto para el agregado grueso como para el fino. Fig. 3.5



Fig. 3.5 Cuarteo de agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el pesaje para proceder a lavar la muestra hasta que quede el agua cristalina, este procedimiento es para poder eliminar los finos. Una vez lavadas las muestras se colocan en la estufa por aproximadamente 18 - 24horas.

Fig. 3.6 Lavado de muestras



Fuente: Elaboración propia

Después de 24 horas en la que la muestra estuvo en la estufa, se saca y se pesan y se realiza el proceso de tamizado según los tamices establecidos por la norma, obteniendo así los resultados que se necesitan para la posterioridad. Fig. 3.7

Fig. 3.7 Proceso de tamizado



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.1 Datos de la granulometría grava de 3/4"

Grava de 3/4"			
Nº Ensayo	1	2	3
Peso total suelo seco (gr.)	4061,0	4061,0	4061,0
Tamiz Nº	Peso retenido (gr.)		
2"	0,0	0,0	0,0
1 1/2"	0,0	0,0	0,0
1"	0,0	0,0	0,0
3/4"	9,2	9,7	9,9
1/2"	1660,0	1660,0	1661,1
3/8"	2643,1	2644,2	2643,3
Nº 4	3992,0	3990,0	3991,0
Nº 8	4023,0	4020,1	4020,4
Nº 40	4033,1	4030,1	4031,4

N° 200	4041,5	4042,8	4042,0
--------	--------	--------	--------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Datos de la granulometría intermedio triturado

Intermedio triturado			
N° Ensayo	1	2	3
Peso total suelo seco (gr.)	1689,4	1689,4	1689,4
Tamiz N°	Peso retenido (gr.)		
2"	0,0	0,0	0,0
1 1/2"	0,0	0,0	0,0
1"	0,0	0,0	0,0
3/4"	0,0	0,0	0,0
1/2"	0,0	0,0	0,0
3/8"	3,1	3,1	2,3
N° 4	437,0	436,5	434,4
N° 8	994,1	991,4	990,1
N° 40	1335,8	1339,1	1340,2
N° 200	1527,6	1530,2	1528,3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Datos de la granulometría arena

Arena			
N° Ensayo	1	2	3
Peso total suelo seco (gr.)	1081,4	1081,4	1081,4
Tamiz N°	Peso retenido (gr.)		
2"	0,0	0,0	0,0
1 1/2"	0,0	0,0	0,0
1"	0,0	0,0	0,0

3/4"	0,0	0,0	0,0
1/2"	0,0	0,0	0,0
3/8"	0,0	0,0	0,0
N° 4	12,0	12,6	13,5
N° 8	119,3	120,2	118,1
N° 40	445,7	451,6	448,5
N° 200	1046,1	1043,1	1045,5

Fuente: Elaboración propia

Cálculo porcentaje que pasan el tamiz, Grava 3/4.

()

(=)

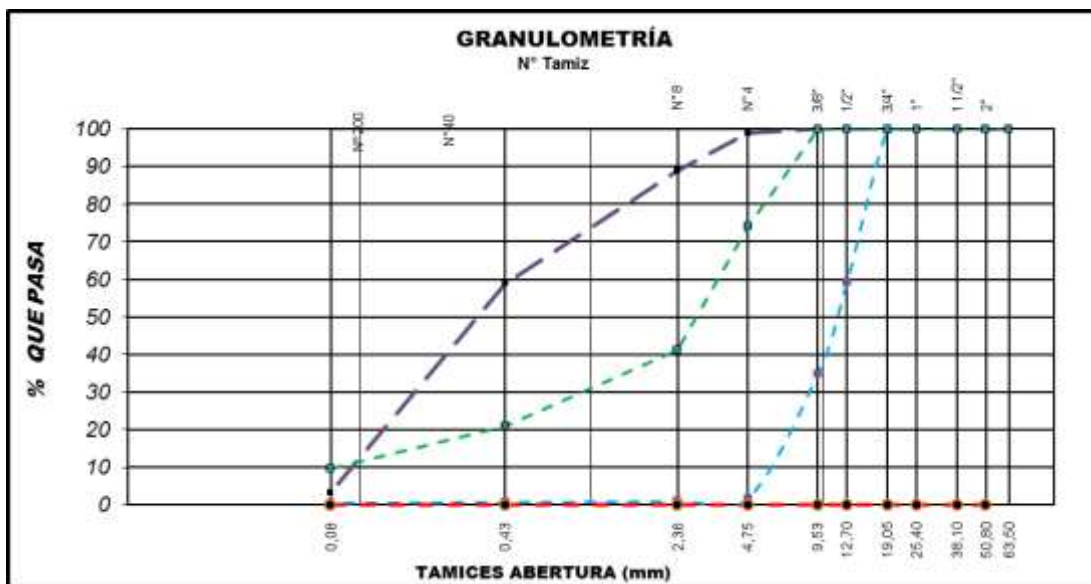
Tabla 3.4 Resultado granulometría agregados ensayo 1.

Peso suelo seco (Gr.)		4061	1689,4		1081,4	
Tamiz	Grava de 3/4		Intermedio triturado		Arena	
N°	Peso retenido	% Que Pasa	Peso retenido	% Que pasa	Peso retenido	% Que pasa
2"	0	100	0	100	0	100
1 1/2"	0	100	0	100	0	100
1"	0	100	0	100	0	100
3/4"	9,2	99,77	0	100	0	100
1/2"	1660	59,12	0	100	0	100
3/8"	2643,1	34,92	3,1	99,8	0	100
N° 4	3992	1,7	437	74,1	12	98,9

N° 8	4023	0,94	994,1	41,2	119,3	89
N° 40	4033,1	0,69	1335,8	20,9	445,7	58,8
N° 200	4041,5	0,48	1527,6	9,6	1046,1	3,3

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.8 Distribución granulométrica ensayo 1.



Fuente: Elaboración propia

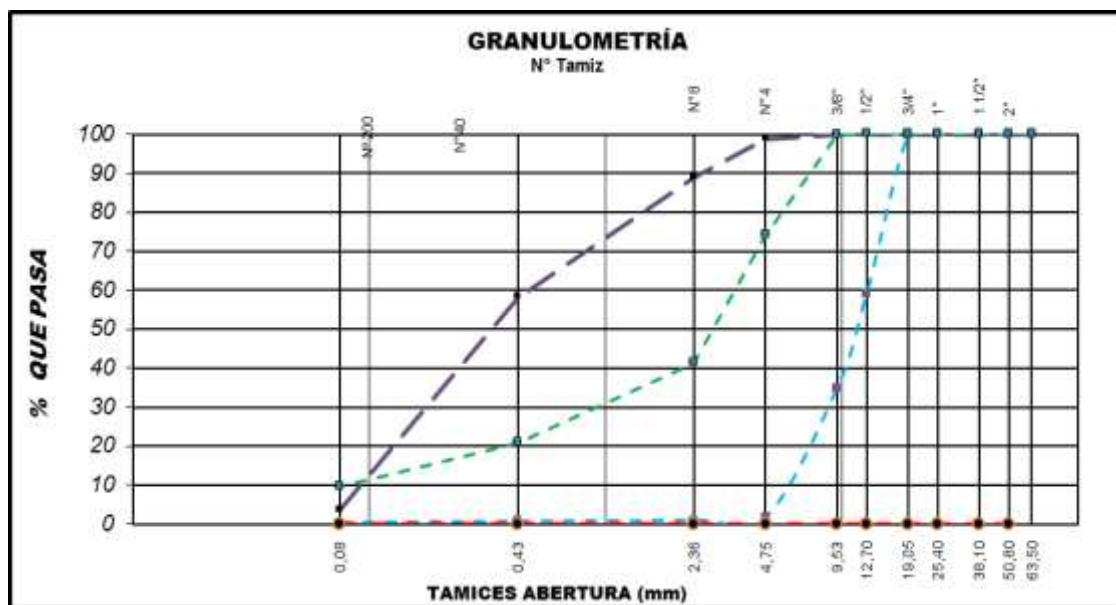
Tabla 3.5 Resultado granulometría agregados ensayo 2.

Peso suelo seco (Gr.)	4061		1689,4		1081,4	
Tamiz	Grava de 3/4		Intermedio triturado		Arena	
N°	Peso ret.	% Que Pasa	Peso ret.	% Que Pasa	Peso ret.	% Que pasa
2"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
1 1/2"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
1"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
3/4"	9,7	99,8	0,0	100,0	0,0	100,0
1/2"	1660,0	59,1	0,0	100,0	0,0	100,0
3/8"	2644,2	34,9	3,1	99,8	0,0	100,0
N° 4	3990,0	1,7	436,5	74,2	12,6	98,8
N° 8	4020,1	1,0	991,4	41,3	120,2	88,9

N° 40	4030,1	0,8	1339,1	20,7	451,6	58,2
N° 200	4042,8	0,4	1530,2	9,4	1043,1	3,5

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.9 distribución granulométrica ensayo 2.



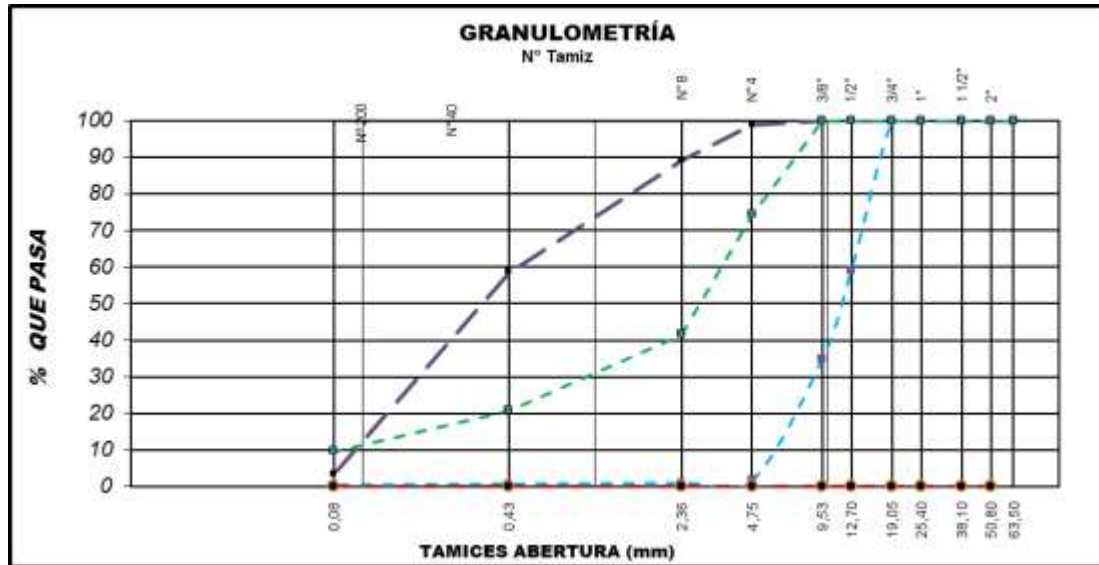
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6 Resultado granulometría agregados ensayo 3.

Peso suelo seco (Gr.)	4061		1689,4		1081,4	
Tamiz N°	Grava de 3/4		Intermedio triturado		Arena	
	Peso ret.	% Que pasa	Peso ret.	% Que pasa	Peso ret.	% Que pasa
2"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
1 1/2"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
1"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
3/4"	9,9	99,8	0,0	100,0	0,0	100,0
1/2"	1661,1	59,1	0,0	100,0	0,0	100,0
3/8"	2643,3	34,9	2,3	99,9	0,0	100,0
N° 4	3991,0	1,7	434,4	74,3	13,5	98,8
N° 8	4020,4	1,0	990,1	41,4	118,1	89,1
N° 40	4031,4	0,7	1340,2	20,7	448,5	58,5
N° 200	4042,0	0,5	1528,3	9,5	1045,5	3,3

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.10 Distribución granulométrica ensayo 3.



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Ensayo desgaste mediante la máquina de Los Ángeles (AASHTO T-96)

El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión. La rotación está comprendida entre 30 y 33 rpm, la cual fue contrapesada e impulsada de modo que se mantuvo una velocidad periférica uniforme ya que tiene incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

Fig. 3.11 Máquina de “Los Ángeles” post ensayo y retiro del material



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7 Datos del ensayo máquina de “Los Ángeles” para faja C

Pasa	Retenido	Cantidad (gr.)
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
Peso inicial P1		5000
Retenido tamiz N°12 P2		3949
Diferencia=P1-P2		1051
Tipo de gradación		C
N° de esferas		8
N° de revoluciones		500
Carga abrasiva a 32,5 Rpm.		

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{1051}{5000} * 100$$

% Desgaste= 21,02 %

Tabla 3.8 Datos del ensayo máquina de “Los Ángeles” para faja B

Pasa	Retenido	Cantidad (gr.)
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
Peso inicial P1		5000
Retenido tamiz N°12 P2		2592
Diferencia=P1-P2		2408
Tipo de gradación		<i>B</i>
N° de esferas		<i>11</i>
N° de revoluciones		<i>500</i>
<i>Carga abrasiva a 32,5 Rpm.</i>		

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{2408}{5000} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = 48,16 \%$$

3.3.3. Ensayo sulfatos para determinar la desintegración (AASHTO T104)

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

Fig. 3.12 Desgaste al sulfato

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9 Datos del ensayo por desgaste al sulfato agregado grueso

Datos agregado grueso					
Granulometría				Peso material	
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz retenido	Material	Post-ensayo(gr.)	Luego-ensayo(gr.)
3/4"	3/4"	1/2"	95,80	670,4	667,50
1/2"	1/2"	3/8"	78,30	330,3	329,30
3/8"	3/8"	N°4	51,40	300,0	295,00
N°3	N°4	N°10	31,80	100,0	96,40

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

Pérdida por diferencia= *Peso post ensayo* – *Peso luego ensayo*

Pérdida por diferencia= 670,4 – 667,50

Pérdida por diferencia= 2,9 gr.

%Pasa al tamiz= %*Tamiz pasa* – %*Tamiz retenido*

%Pasa al tamiz= 95,80 – 78,30

%Pasa al tamiz= 17,5 %

$$\% \text{de pérdida respecto al tamiz} = \frac{\text{pérdida por diferencia}}{\text{Peso antes del ensayo}} * 100$$

$$\% \text{de pérdida respecto al tamiz} = \frac{2,9}{670,4} * 100$$

$$\% \text{de pérdida respecto al tamiz} = 0,432 \%$$

$$\% \text{de pérdida muestra total} = \frac{\% \text{de pérdida respecto al tamiz}}{100} * \frac{\% \text{Pasa al tamiz}}{100} * 100$$

$$\% \text{de pérdida respecto muestra total} = \frac{0,432}{100} * \frac{17,5}{100} * 100$$

$$\% \text{de pérdida respecto muestra total} = 0,0756$$

Tabla 3.10 Resultados del ensayo por desgaste al sulfato agregado grueso

Resultados agregado grueso				
Tamiz N°	Pérdida por diferencia (gr.)	% Pasa tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
3/4"	2,9	17,50	0,43	0,076
1/2"	1,0	26,90	0,30	0,081
3/8"	5,0	19,60	1,67	0,327
N°3	3,6	31,80	3,60	1,145
N°4	0,0	0,00	0,00	0,000

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{Total de pérdida agregado grueso} = \sum \% \text{de pérdida respecto muestra total}$$

$$\% \text{Total de pérdida agregado grueso} = 1,63 \%$$

Tabla 3.11 Datos del ensayo por desgaste al sulfato agregado fino

Datos agregado fino

Granulometría				Peso material	
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz retenido	Material	Pre-ensayo(gr.)	Post-ensayo(gr.)
3/8"	3/8"	N°4	51,40	100,0	98,10
N°4	N°4	N°10	31,50	100,0	98,30
N°10	N°10	N°40	19,70	100,0	97,80
N°40	N°40	N°80	12,40	100,0	97,40
N°80	N°80	N°200	5,10	100,0	97,30

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo: Realizar el mismo procedimiento explicado previamente

Tabla 3.12 Resultados del ensayo por desgaste al sulfato agregado fino

Resultados agregado fino				
Tamiz N°	Pérdida por diferencia (gr.)	% Pasa tamiz más fino	%Pérdida respecto tamiz	%Pérdida respecto muestra total
3/8"	1,9	19,90	1,90	0,3781
N°4	1,7	11,80	1,70	0,2006
N°10	2,2	7,30	2,20	0,1606
N°40	2,6	7,30	2,60	0,1898
N°80	2,7	5,10	2,70	0,1377

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

%Total de pérdida agregado fino= \sum %de pérdida respecto muestra total

%Total de pérdida agregado fino= 1,066 %

%Total de pérdida agregado = %pérdida agregado grueso+%pérdida agregado fino

%Total de pérdida agregado = 1,63+1,066

%Total de pérdida agregado = 2,696 %

3.3.4. Ensayo peso específico en áridos gruesos (AASHTO T85)

Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se

emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Fig. 3.13 Preparando el material para su respectivo pesaje.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13 Datos peso específico agregado grueso N°1

Datos agregado grueso N°1			
Descripción	Unidad	1	2
Peso muestra saturada de superficie seca (e)	gr	1244,0	1313,6
Peso material seco (f)	gr	1233,0	1301,0
Peso muestra + cesto suspendido en agua	gr	1970,0	2013,8
Peso del cesto suspendido en agua	gr	1202,1	1202,1
Peso muestra suspendida agua (g)	gr	767,9	811,7

Fuente:-Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\text{Peso específico agregado seco} = \frac{f}{e - g}$$

$$\text{Peso específico agregado seco} = \frac{1233,0}{1244,0 - 767,9}$$

$$\text{Peso específico agregado seco} = 2,589 \frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = \frac{e}{e - g}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = \frac{1244,0}{1244,0 - 767,9}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = 2,6128 \frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{f}{f - g}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{1233,0}{1233,0 - 767,9}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,651 \frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{e - f}{f} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{1244,0 - 1233,0}{1233,0} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = 0,8921 \%$$

Tabla 3.14 Resultados peso específico agregado grueso N°1

Resultados agregado grueso N°1			
Descripción	Unidad	1	2
Peso específico del agregado seco ($f / (e-g)$)	gr/cm ³	2,590	2,592
P. E. A. saturado de superficie seca ($e/(e-g)$)	gr/cm ³	2,613	2,617
Peso específico aparente ($f/ (f-g)$)	gr/cm ³	2,651	2,659
% de absorción $((e-f)/f)*100$	%	0,892	0,968

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera se realiza el procedimiento para el ensayo N°2

Tabla 3.15 Datos peso específico agregado grueso N°2

Datos agregado grueso N°2			
Descripción	Unidad	1	2
Peso muestra saturada de superficie. seca (e)	gr	1243,2	1312,8
Peso material seco (f)	gr	1233,0	1300,0
Peso muestra + cesto suspendido en agua	gr	1992,8	1985,2
Peso del cesto suspendido en agua	gr	1202,1	1202,1
Peso muestra suspendida agua (g)	gr	790,7	783,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16 Resultado peso específico agregado grueso N°2

Resultados agregado grueso N°2				
Descripción	Unidad	1	2	Promedio
Peso específico del agregado seco ($f / (e-g)$)	gr/cm ³	2,725	2,454	2,589
P. E. A. saturado de superficie seca ($e/(e-g)$)	gr/cm ³	2,747	2,478	2,613
Peso específico aparente ($f/ (f-g)$)	gr/cm ³	2,788	2,515	2,651
% de absorción $((e-f)/f)*100$	%	0,827	0,985	0,906

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Ensayo peso específico en áridos finos (AASHTO T84)

Se determina el peso específico real, neta y la absorción de agua de un árido fino como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas obtenidas mediante el ensayo por separado de sus dos fracciones. Es aplicable a los áridos finos

de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Fig. 3.14 Revisión de humedad post ensayo peso específico árido fino



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17 Datos peso específico agregado fino N°1

Datos agregado fino N°1			
Descripción	Unidad	1	2
Peso frasco seco y vacío (u)	gr.	133,8	133,6
Peso frasco + muestra(f)	gr.	179,0	178,3
Peso muestra saturada de superficie seca (x)	gr.	45,8	45,2
Peso muestra seca (a=f-u)	gr.	45,2	44,7
Peso frasco + agua (t)	gr.	262,2	263,0
Peso frasco + muestra + agua (b)	gr.	290,8	290,6
Volumen frasco (t-u)	cm ³ .	128,4	129,4

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\text{Peso específico seco} = \frac{a}{(x + (t - u)) - (b - u)}$$

$$\text{Peso específico seco} = \frac{45,2}{(45,8 + (262,2 - 133,8)) - (290,8 - 133,8)}$$

$$\text{Peso específico seco} = 2,6279 \frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3}$$

$$P.E.A. \text{ Saturado superficie seca} = \frac{x}{(x + (t - u)) - (b - u)}$$

$$P.E.A. \text{ Saturado superficie seca} = \frac{45,8}{(45,8 + (262,2 - 133,8)) - (290,8 - 133,8)}$$

$$P.E.A. \text{ Saturado superficie seca} = 2,6627 \frac{gr.}{cm^3}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a}{((t + a) - b)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{45,2}{((262,2 + 45,2) - 290,8)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,7228 \frac{gr.}{cm^3}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{(x - a) * 100}{a}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{(45,8 - 45,2) * 100}{45,2}$$

$$\% \text{ de Absorción} = 1,327 \frac{gr.}{cm^3}$$

Tabla 3.18 Resultados peso específico agregado fino N°1

Resultados agregado fino N°1				
Descripción	Unidad	1	2	Promedio
Peso específico del agregado seco	gr/cm ³ .	2,628	2,540	2,584
P. E. A. saturado sup. seca	gr/cm ³ .	2,663	2,568	2,615

Peso específico aparente (BULK) ($a/(t+a-b)$)	gr/cm ³ .	2,723	2,614	2,668
% de absorción	%.	1,3	1,1	1,223

Fuente: Elaboración propia

Realizar el mismo procedimiento explicado previamente, para el ensayo N°2

Tabla 3.19 Datos peso específico agregado fino N°2

Datos agregado fino N°2			
Descripción	Unidad	1	2
Peso frasco seco y vacío (u)	gr.	133,4	133,7
Peso frasco + muestra(f)	gr.	174,4	174,2
Peso muestra saturada de superficie seca (x)	gr.	41,6	41,2
Peso muestra seca ($a=f-u$)	gr.	41,0	40,5
Peso frasco + agua (t)	gr.	263,1	264,2
Peso frasco + muestra + agua (b)	gr.	290,1	287,9
Volumen frasco (t-u)	cm ³ .	129,7	130,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.20 Resultados peso específico agregado fino N°2

RESULTADOS AGREGADO FINO N°2				
Descripción	Unidad	1	2	Promedio
Peso específico del agregado seco	gr/cm ³	2,808	2,318	2,563
P. E. A. saturado sup. seca	gr/cm ³	2,849	2,358	2,604
Peso específico aparente (BULK) ($a/(t+a-b)$)	gr/cm ³	2,929	2,415	2,672
% de absorción	%.	1,5	1,7	1,597

Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Ensayo peso unitario (AASHTO T-19)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Fig. 3.15 Gráfica peso unitario



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.21 Datos ensayo peso unitario arena

Datos peso unitario arena					
Suelto	Descripción	Unidad	1	2	3
		Peso muestra + recipiente	gr.	11917,0	12000,1
	Peso del recipiente	gr.	7082,0	7082,00	7082,0
	Peso del agregado seco	gr.	4835,0	4918,1	4868,2
	Volumen del recipiente	cm ³	2935,0	2935,0	2935,0
Compactado	Descripción	Unidad	1	2	3
	Peso muestra + recipiente	gr.	12117,0	12250,1	11941,1
	Peso del recipiente	gr.	7082,0	7082,00	7082,0
	Peso del agregado seco	gr.	5035,0	5168,1	4859,1
	Volumen del recipiente	cm ³	2935,0	2935,0	2935,0

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{4835,0}{2935,0}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = 1,647 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 3.22 Resultados ensayo peso unitario arena

Resultados peso unitario arena				
Descripción	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,647	1,676	1,659
Promedio	gr/cm ³	1,661		
Descripción	Unidad	1	2	3
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,716	1,761	1,656
Promedio	gr/cm ³	1,711		
Peso unitario arena	gr/cm ³	1,686		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23 Datos ensayo peso unitario intermedio triturado

Datos peso unitario intermedio					
Suelto	Descripción	Unidad	1	2	3
	Peso muestra + recipiente	gr.	23916,0	23999,1	23949,2
	Peso del recipiente	gr.	10623,0	10623,00	10623,0
	Peso del agregado seco	gr.	13293,0	13376,1	13326,2
	Volumen del recipiente	cm ³	9880,0	9880,0	9880,0
Compactado	Descripción	Unidad	1	2	3
	Peso muestra + recipiente	gr.	24116,0	24249,1	23940,1
	Peso del recipiente	gr.	10623,0	10623,00	10623,0
	Peso del agregado seco	gr.	13493,0	13626,1	13317,1
	Volumen del recipiente	cm ³	9880,0	9880,0	9880,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24 Resultados ensayo peso unitario intermedio triturado

Resultados peso unitario intermedio				
Descripción	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,345	1,354	1,349
Promedio	gr/cm ³	1,349		
Descripción	Unidad	1	2	3
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,366	1,379	1,348
Promedio	gr/cm ³	1,364		
Peso unitario intermedio	gr/cm ³	1,357		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25 Datos ensayo peso unitario grava

Datos peso unitario grava					
Suelto	Descripción	Unidad	1	2	3
	Peso muestra + recipiente	gr.	23460,0	23543,1	23493,2
	Peso del recipiente	gr.	10623,0	10623,00	10623,0
	Peso del agregado seco	gr.	12837,0	12920,1	12870,2
	Volumen del recipiente	cm ³	9880,0	9880,0	9880,0
Compactado	Descripción	Unidad	1	2	3
	Peso muestra + recipiente	gr.	23660,0	23793,1	23484,1
	Peso del recipiente	gr.	10623,0	10623,00	10623,0
	Peso del agregado seco	gr.	13037,0	13170,1	12861,1
	Volumen del recipiente	cm ³	9880,0	9880,0	9880,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26 Resultados ensayo peso unitario grava

Resultados peso unitario grava				
Descripción	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,299	1,308	1,303
Promedio	gr/cm ³	1,303		
Descripción	Unidad	1	2	3
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,320	1,333	1,302
Promedio	gr/cm ³	1,318		
Peso unitario grava	gr/cm ³	1,311		

Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Ensayo equivalente de arena (AASHTO T-176)

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas, presentes en un pétreo fino (bajo tamiz 5 mm).

Fig. 3.16 Medición equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27 Datos ensayo equivalente de arena

Datos equivalente de arena			
Descripción	Lecturas		
	1	2	3
Lectura nivel superior	85,5	83,5	87,0
Lectura nivel inferior	66,5	63,5	68,4

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ de arena}_1 = \frac{\text{Lectura Nivel inferior}}{\text{Lectura Nivel superior}} * 100$$

$$\% \text{ de arena}_1 = \frac{66,5}{85,5} * 100$$

% de arena₁ =77,777 %

Tabla 3.28 Resultados ensayo equivalente de arena

Resultados equivalente de arena			
Descripción	Lecturas		
	1	2	3
% de arena	77,8	76,0	78,6
Promedio	77,49		

Fuente: Elaboración propia

3.3.8. Ensayo porcentaje de caras fracturadas (ASTM D 5821 - NTL 358)

Este método establece el procedimiento para determinar el contenido porcentual de partículas chancadas, rodadas y lajeadas de la fracción de un árido retenida en el tamiz 4,75 mm (Nº 4). Siendo aplicable a todos aquellos suelos granulares y áridos que se emplean en la construcción de las diferentes capas que conforman un pavimento, cuando las especificaciones de obra así lo estipulen.

Fig. 3.17 Partículas laminadas y caras fracturadas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29 Datos ensayo caras fracturadas

Datos caras fracturadas			
Descripción		Unidad	Lecturas
Grava	Peso total retenido N°4 (a)	gr.	4010
	Peso caras fracturadas (b)	gr.	3410,6
Intermedio	Peso total retenido N°4 (a)	gr.	3750
	Peso caras fracturadas (b)	gr.	3100,5

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

Peso caras no fracturadas = a – b

Peso caras no fracturadas = 4010 – 3410,6

Peso caras no fracturadas = 599,4 gr.

$$\text{Porcentaje caras fracturadas} = \frac{b}{a} * 100$$

$$\text{Porcentaje caras fracturadas} = \frac{3410,6}{4010} * 100$$

Porcentaje caras fracturadas = 85,052 %

Tabla 3.30 Resultados ensayo caras fracturadas

Resultados caras fracturadas			
Descripción		Unidad	Lecturas
Grava	Caras no fracturadas (a-b)	gr.	599,4
	% caras fracturadas (b/a)*100	%	85,05
Intermedio	Caras no fracturadas (a-b)	gr.	649,5
	% caras fracturadas (b/a)*100	%	82,68

Fuente: Elaboración propia

3.3.9. Ensayo determinación partículas largas y achatadas (ASTM D 4791)

Se extiende la muestra en un área para inspeccionar cada partícula. Si es necesario se lava el agregado sucio. Esto facilita la inspección y detección de las partículas fracturadas. Para las partículas chatas y alargadas se debe tener en cuenta que el largo debe ser 5 veces más que su espesor, se pesan las seleccionadas.

Fig. 3.18 Partículas largas y achatadas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.31 Datos ensayo laminaridad

Datos laminaridad			
Material	Unidades	Grava	Intermedio
Peso total muestra	gr.	1500	1500
Peso retenido de partículas laminares	gr.	42	51

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ Total de partículas laminares} = \frac{\text{Peso retenido partículas laminares}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Total de partículas laminares} = \frac{42}{1500} * 100$$

$$\% \text{ Total de partículas laminares} = 2,8 \%$$

Tabla 3.32 Resultados ensayo laminaridad

Resultados laminaridad			
Material	Unidades	Grava	Intermedio
Porcentaje total de partículas laminares (%)	%	2,8	3,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.33 Datos ensayo chatas y alargadas

Datos partículas chatas y alargadas			
Material	Unidades	Grava	Intermedio
Peso total muestra	gr.	1500	1500
Peso retenido de partículas chatas y alargadas	gr.	41,8	30,1

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ Total de partículas}_{(\text{chatas y alargadas})} = \frac{\text{Peso retenido}_{\text{ chatas y alargadas}}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Total de partículas}_{(\text{chatas y alargadas})} = \frac{41,8}{1500} * 100$$

$$\% \text{ Total de partículas}_{(\text{chatas y alargadas})} = 2,787 \%$$

Tabla 3.34 Resultados ensayo chatas y alargadas

Resultados partículas chatas y alargadas			
Material	Unidades	Grava	Intermedio
Porcentaje total de partículas chatas y alargadas	%	2,787	2,01

Fuente: Elaboración propia

3.3.10. Ensayo determinación límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (AASHTO T-89 Y T-90)

Límite líquido (LL): Se define como el contenido de agua de un suelo fino, para el cual su resistencia al corte es aproximadamente de 25 gr/cm^2

$$PI=LL-PL$$

Límite plástico (PL): Se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. Es el límite inferior de la etapa plástica del suelo.

Fig. 3.19 Ensayo de límites



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.35 Datos y resultados límites

N° Tara	1	2
Peso suelo húmedo + tara	25,69	28,11
Peso suelo seco + tara	22,98	25,29
Peso agua	2,71	2,82
Peso tara	9,22	10,29

Peso Suelo seco	13,76	15,00
% de humedad	19,69	18,80
Nº de golpes	4,00	7,00

Fuente: Elaboración propia

3.4. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

3.4.1. Punto de ablandamiento AASHTO T-53 (ASTM D-36)

Consiste en llenar de asfalto fundido, un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados para proceder a calentar a una velocidad, se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del caso de cristal. Esta temperatura es denominada punto de ablandamiento del cemento asfáltico.

Tabla 3.36 Resultados ensayo de punto de ablandamiento.

% de aditivo	Punto de ablandamiento (°C.) AASTHO T-53		
	<i>Ensayo 1</i>	<i>Ensayo 2</i>	<i>Promedio</i>
0	60	69	65

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.20 Gráfica ensayo punto de ablandamiento.



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Punto de Inflamación AASHTO T – 78

Cuando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El siguiente ensayo, mide a que temperatura el asfalto puede ser calentado con seguridad, sin que se produzca una inflamación instantánea de los elementos combustibles que éste contiene. Sin embargo esta temperatura de inflamación está por debajo del punto de combustión (fire point). Para realizar este ensayo, se utiliza “el vaso Cleveland”, que consiste en llenar un vaso de bronce con una determinada cantidad de asfalto y calentarlo aumentando la temperatura variablemente, luego se pasa una pequeña llama sobre la superficie hasta que se obtiene una inflamación debido a los gases volátiles que este soltó. Otro ensayo utilizado, para el mismo propósito es el ensayo de Pensky-Martens.

Tabla 3.37 Resultados ensayo punto de inflamación.

% de aditivo	Punto de inflamación (°C.) AASHTO T-78			
	<i>Ensayo 1</i>	<i>Ensayo 2</i>	<i>Ensayo 3</i>	<i>Promedio</i>
0	262	258	261	260

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.21 Gráfica ensayo punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Peso específico AASHTO T – 227

Es la relación que existe entre el peso de un volumen dado de material a una temperatura de 25 °C, y el peso de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura, cuyo ensayo ayuda a hacer correcciones cuando este se mide a temperaturas elevadas.

Tabla 3.38 Datos ensayo peso específico.

Datos Peso específico AASHTO T - 227					
% de aditivo	Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
0	Peso picnómetro (b)	gr.	133,20	134,40	134,80
	Peso picnómetro+agua(25°C)(c)	gr.	261,60	262,80	263,20
	Peso picnómetro+muestra (a)	gr.	201,00	206,00	200,00
	Peso picnómetro+agua+muestra(d)	cc.	264,00	265,20	265,40
	Peso específico	gr./cm ³	1,037	1,035	1,035

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de cálculo:

$$\text{Peso Específico 1} = \frac{(a - b)}{c + (a - b) - d}$$

$$\text{Peso Específico 1} = \frac{(201 - 133,20)}{261,60 + (201 - 133,20) - 264}$$

$$\text{Peso Específico 1} = 1,037 \text{ Grs./cm}^3$$

Tabla 3.39 Resultados ensayo peso específico.

Resultados peso específico gr./cm ³ AASHTO T - 227				
% de aditivo	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	1,037	1,035	1,035	1,035

Fuente: Elaboración propia

Se procede a incorporar los porcentajes de aditivo para realizar el correspondiente ensayo.

Tabla 3.40 Datos ensayo peso específico con aditivo.

Peso específico AASHTO T - 227					
% de aditivo	Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
3	Peso picnómetro	gr.	133,20	134,40	134,80
	Peso picnómetro + agua(25°C)	gr.	261,60	262,80	263,20
	Peso picnómetro + muestra	gr.	201,00	206,00	200,00
	Peso picnómetro + agua +muestra	cc.	264,33	265,63	265,78
	Peso específico	gr./cm ³	1,042	1,041	1,041
8	Peso picnómetro	gr.	133,20	134,40	134,80
	Peso picnómetro + agua(25°C)	gr.	261,60	262,80	263,20
	Peso picnómetro + muestra	gr.	201,00	206,00	200,00
	Peso picnómetro + agua + muestra	cc.	264,90	266,00	266,15
	Peso específico	gr./cm ³	1,051	1,047	1,047
15	Peso picnómetro	gr.	133,20	134,40	134,80
	Peso picnómetro + agua(25°C)	gr.	261,60	262,80	263,20
	Peso picnómetro + muestra	gr.	201,00	206,00	200,00
	Peso picnómetro + agua + muestra	cc.	265,00	265,90	266,30
	Peso específico	gr./cm ³	1,053	1,045	1,050

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.41 Resultados ensayo peso específico con aditivo.

Resultados Peso Específico gr./cm ³ AASHTO T - 227				
% de aditivo	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
3	1,042	1,041	1,041	1,041
8	1,051	1,047	1,047	1,048
15	1,053	1,045	1,050	1,049

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.22 Picnómetro más cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Ensayo de Penetración AASHTO (T – 49)

La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, el cual se basó en la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados. Este consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta la temperatura de referencia, 25°C (77°F), en baño de agua a temperatura constante y se apoya una aguja normalizada, de 100 grs. sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0.1m. Como se observa en la figura 3.22.

Tabla 3.42 Datos ensayo penetración cemento asfáltico 60-70

% de aditivo	Penetración (mm.) a 25°, AASHTO T - 49			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	62	63	63	63

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de penetración para diferentes porcentajes de aditivo

Tabla 3.43 Datos ensayo penetración, mezcla (aditivo-cemento asfáltico).

% de aditivo	Penetración (mm.) a 25°, AASHTO T - 49			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
3	60,7	61,3	61,5	61,2
8	55,3	56,6	56,5	56,1
15	54,6	55,5	55,3	55,1

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.23 Medición ensayo penetración

Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Ensayo Ductilidad A 25° C. AASHTO T-51

Este ensayo se realiza colocando el cemento asfáltico en un molde (normalizado), llevándolo a una temperatura de 25°C (77°C), luego se separa una parte de la probeta y se lleva a una velocidad de 5cm/min., hasta la rotura del hilo que une a ambos lados. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) donde se rompe el pequeño hilo que los uno. Algunos consideran este ensayo como uno de los más importantes, sin embargo se considera más significativo la presencia o ausencia del mismo, que su grado normal.

Tabla 3.44 Resultados ensayo ductilidad.

% de aditivo	Ductilidad a 25° C. (cm.) AASHTO T-51			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	>100	>100	>100	>232

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.24 Gráfica ensayo ductilidad



Fuente: Elaboración propia

3.4.6. Viscosidad Saybolt 135° C. AASHTO T-72

La viscosidad de un asfalto es usualmente medida en un viscosímetro capilar, en una manera similar a la que se miden los aceites lubricantes... La viscosidad a 135°C es la viscosidad durante el mezclado y colocación de la mezcla. El equipo a utilizar para este grado de temperatura básicamente es el mismo; el cemento asfáltico al ser puesto

en la parte ancha del viscosímetro éste fluye por la temperatura a la que se encuentra, posteriormente se toma lectura de la viscosidad cinemática en centistokes. Sin los conocimientos de temperatura, no podríamos estar seguros del rendimiento del asfalto en los diseños de pavimentos que se generen.

Tabla 3.45 Resultados ensayo viscosidad saybolt.

% de aditivo	Viscosidad saybolt 135°C. (seg.) AASHTO T-72			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	250	252	253	252

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.25 Gráfica ensayo viscosidad



Fuente: Elaboración propia

3.5. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO

Fase I.- Se realizan movimientos horizontales y verticales cada 10 min, por un lapso de 8 horas, teniendo el material bruto semi-seco, distribuido homogéneamente en toda el área a la cual estará expuesto al sol, obteniendo de esta manera un material seco. La importancia de realizar el secado es para obtener el residuo enológico en forma

integral, en polvo seco, debido a que la temperatura del mezclado del cemento asfáltico es superior al punto de ebullición de los líquidos contenidos en el residuo enológico siendo necesario secarlo para ser usado en forma de polvo.

Fase II.- Se coloca el material seco en la máquina de molienda manual, de esta manera reducimos el tamaño de las partículas iniciales, reduciendo el tiempo del pulverizado final en la molienda eléctrica, ya que recomendaron esta post-pulverización para disminuir el tiempo de molienda final, puesto que si ingresamos el material seco en bruto a la máquina de molienda eléctrica, esta se manchará con el tinte natural que posee el residuo enológico, debido a que el tiempo de molienda es proporcional a la intensidad de manchas que puede generar en la máquina de molienda eléctrica, es por esta razón que se realiza de manera previa y manual esta post-pulverización del material.

Fase III.- Se realiza la pulverización del material en una máquina de molienda electrónica, la cual puede encontrarse en la Zona del Campesino.

Se ingresa el material semi-pulverizado a la máquina de molienda electrónica para poder recoger un material cuyas partículas sean muy finas, facilitando de esta manera la posterior caracterización del residuo enológico. Figura 3.26.

Fig. 3.26 Máquina de molienda



Fuente: Elaboración propia

Fase IV.- Se realiza la caracterización del residuo enológico mediante el tamizado del material (como se observa en la fig. 3.27), obteniendo de esta manera el pasante de la malla N°100 ASTM, obteniendo de esta manera un material cuyas magnitudes de partículas oscilarán menores a 0.150 mm., cuyo material es denominado antioxidante Aox.

Fig. 3.27 Tamizado residuo enológico



Fuente: Elaboración propia

3.6. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.6.1. Resultados levantamiento de información.

3.6.1.1. Agregados.

Tabla 3.46 Resultados ensayo caracterización agregados.

Resultados caracterización de los agregados					
Ensayo	Unid.	Resultados	Especificaciones		Designación
			Mínimo	Máximo	
Peso específico agregado grueso	gr./cm ³	2,65			T-84
Peso específico agregado fino	gr./cm ³	2,67			T-85
Desgaste de Los Ángeles (C)	%	21,02		40	T-96
Durabilidad agregado grueso	%	1,63		12	T-104
Durabilidad agregado fino	%	1,07		12	T-104
Granulometría	%	según/ Gráfico			T-27
Equivalente de arena	%	77,49	45		T-176

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.2. Cemento asfáltico.

Tabla 3.47 Resultados ensayo caracterización cemento asfáltico.

Resultados cemento asfáltico					
Ensayo	Unid.	Resultados	Especificaciones		Designación
			Mínimo	Máximo	
Peso específico	gr./cm ³	1,04	1	1,05	T-227
Penetración	0,1 mm	62,67	60	70	T-49
Viscosidad Saybolt: "25° C.	seg.	No fluye			T-72
"135° C.	seg.	251,67	85		T-72

Punto de inflamación	°C	260,33	232
----------------------	----	--------	-----

T-78

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Combinación de agregados.

Tabla 3.48 Resumen de la granulometría grava 3/4 ``.

N° Ensayo	% Que pasa							
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 40	N° 200
1	100,00	99,77	59,12	34,92	1,70	0,94	0,69	0,48
2	100,00	99,76	59,12	34,89	1,75	1,01	0,76	0,45
3	100,00	99,76	59,10	34,91	1,72	1,00	0,73	0,47
Resumen estadístico								
Numero de ensayos	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor máximo	100	99,77	59,12	34,92	1,75	1,01	0,76	0,48
Valor mínimo	100	99,76	59,10	34,89	1,70	0,94	0,69	0,45
Valor promedio	100	99,76	59,11	34,90	1,72	0,98	0,73	0,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.49 Resumen de la granulometría intermedio triturado.

N° Ensayo	% Que pasa							
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 40	N° 200
1	100,00	100,00	100,00	99,82	74,13	41,16	20,93	9,58
2	100,00	100,00	100,00	99,82	74,16	41,32	20,74	9,42
3	100,00	100,00	100,00	99,86	74,29	41,39	20,67	9,54
Resumen estadístico								
Numero de ensayos	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor máximo	100	100	100	99,86	74,29	41,39	20,93	9,58
Valor mínimo	100	100	100	99,82	74,13	41,16	20,67	9,42
Valor promedio	100	100	100	99,83	74,19	41,29	20,78	9,51

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.50 Resumen de la granulometría arena.

N° Ensayo	% Que pasa							
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 40	N° 200
1	100,00	100,00	100,00	100,00	98,89	88,97	58,78	3,26
2	100,00	100,00	100,00	100,00	98,83	88,88	58,24	3,54
3	100,00	100,00	100,00	100,00	98,75	89,08	58,53	3,32
Resumen estadístico								
Numero de ensayos	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor máximo	100	100	100	100	98,89	89,08	58,78	3,54
Valor mínimo	100	100	100	100	98,75	88,88	58,24	3,26
Valor promedio	100	100	100	100	98,83	88,98	58,52	3,38

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.1. Proporciones de agregados

Considerando las fajas recomendadas, se procedió a dosificar teóricamente los materiales para verificar si estos se encuadran dentro de lo establecido; el método empleado para tal fin fue el de tanteos, por razonamiento lógico. Dada la naturaleza de las granulometrías, se pudo cumplir con los requisitos que se establece en la “faja C” de las especificaciones técnicas.

Tabla 3.51 Aporte porcentual de agregados en peso

Aporte porcentual de los agregados en peso	
Material	Cantidad (%)
Grava de 3/4"	40%
Intermedio triturado	35%
Arena natural	25%
Resultante	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.52 Curva de granulometría proyectada

Curva proyectada					
Tamices	Curva proyectada	Especificación		Faja trabajo	
		Mínimo	Máximo		
1"	100	100	100	100	100
¾"	99,9	97	100	97	100
½"	83,6	71	93	78,6	88,6
⅜"	73,9	57	80	68,9	78,9
Nº 4	51,4	42	66	44,4	58,4
Nº 8	37,1	31	50	32,1	42,1
Nº 40	22,2	11	25	19,2	25,2
Nº 200	4,4	1	9	2,4	6,4

Fuente: Elaboración propia

Se procede al diseño de la faja para lo cual se utilizó los materiales de la chancadora "Valle Dorado" de Bermejo, tanto para el agregado grueso como para el fino, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 40% de agregado grueso de ¾", 35% de intermedio triturado y 25 % de arena para la granulometría de la mezcla.

Tabla 3.53 Dosificación de material pétreo (1" - 3/8").

Material	plg.	1"		¾"		½"		3/8"	
	mm.	25,4		19,1		12,5		9,50	
	%	%	M	%	M	%	M	%	M
Grava de ¾"	40	100	40	99,8	39,9	59,1	23,6	34,9	14,0
Intermedio triturado	35	100	35	100,0	35,0	100,0	35,0	99,8	34,9
Arena natural	25	100	25	100,0	25,0	100,0	25,0	100,0	25,0
Resultante	100	----	100	----	99,9	----	83,6	----	73,9
Especificaciones	----	100	100	100	97	93	71	80	57

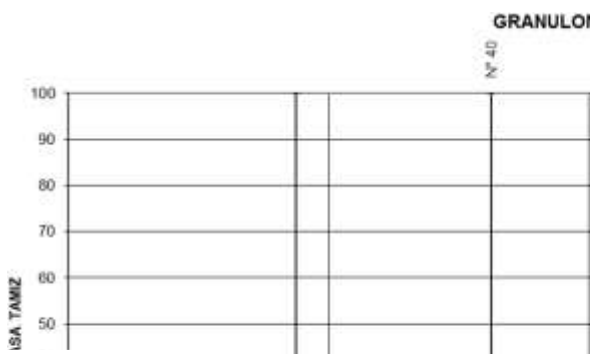
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.54 Dosificación de material pétreo (N° 4 – N° 200).

Material	plg.	N° 4		N° 8		N° 40		N° 200	
	mm.	4,75		2,00		0,42		0,08	
	%	%	M	%	M	%	M	%	M
Grava de 3/4"	40	1,7	0,7	1,0	0,4	0,7	0,3	0,5	0,2
Intermedio triturado	35	74,2	26,0	41,3	14,5	20,8	7,3	9,5	3,3
Arena natural	25	98,8	24,7	89,0	22,2	58,5	14,6	3,4	0,9
Resultante	100		51,4		37,1		22,2		4,4
Especificaciones		66	42	50	31	25	11	9	1

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.28 Granulometría y faja combinada



Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall (ASTM D-159).

3.6.3.1. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico 60 – 70.

El contenido óptimo de asfalto para un material de carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, de espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo evitando que el asfalto se oxide con rapidez. Por otro lado, no debe ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad, es

decir, deformación excesiva por flujo plástico o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

La importancia es determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla específica de agregados; así como también proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de mezcla asfáltica en caliente, de tal manera que sea posible establecer si cumple en lo referente al establecimiento de densidades y contenidos óptimos de vacío durante la construcción de la capa del pavimento.

Por lo tanto es necesario tener una referencia para realizar el tanteo de aplicación de porcentaje óptimo en el momento del mezclado del cemento asfáltico con el agregado, por lo tanto se procede al cálculo del porcentaje óptimo estimado.

Donde:

% C.A.= Porcentaje aproximado de cemento asfáltico.

a= Porcentaje retenido tamiz N°8.

b= Porcentaje pasante tamiz N° 8.

c= Porcentaje de agregado que pasa la malla N° 200.

G= 0,15 si el porcentaje retenido tamiz 3/4" está entre 11 % y 15 %.

G= 0,18 si el porcentaje retenido tamiz 3/4" está entre 6 % y 10 %.

G= 0,20 si el porcentaje retenido tamiz 3/4" es 5 % o menos.

H= Varía según la absorción de humedad de 0 a 2 % (Se asume 0,7).

Procedimiento de cálculo:

Datos:

a= 56,28 %

b= 43,72 %

c= 4,46 %

$G = 0,20$ porque el porcentaje retenido tamiz 3/4" es menor a 5 %.

$H = 0,7$

Para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico se realizó 18 briquetas mediante el método Marshall, a diversos porcentajes de cemento asfáltico de 4,5 %, 5,0 %, 5,5 %, 6,0 %, 6,5 % y 7 %, para conocer el contenido óptimo que utilizaremos.

3.6.3.2. Dosificación con 4,5 % de cemento asfáltico.

Tabla 3.55 Dosificación con cemento asfáltico de 4,5 %.

Dosificación cemento asfáltico al 4.5 %				
Tamiz	% pasa	% retenido	Peso parcial (gr)	Peso acumulado (gr)
1 1/2"	100	0	0,0	0,0
1"	100	0	0,0	0,0
3/4"	100	0,10	1,1	1,1
1/2"	99,9	16,26	186,3	187,4
3/8"	83,6	9,74	111,7	299,1
N° 4	73,9	22,54	258,3	557,4
N° 8	51,4	14,28	163,6	721,0
N° 40	37,1	14,89	170,7	891,7
N° 200	22,2	17,83	254,3	1146,0
Peso total de agregados			1146	
Cemento asfáltico			54	
Peso total de briketa			1200	

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.3. Dosificación con 5 % de cemento asfáltico.

Tabla 3.56 Dosificación con cemento asfáltico de 5 %.

Dosificación cemento asfáltico al 5 %				
Tamiz	% pasa	% retenido	Peso parcial (gr)	Peso acumulado (gr)
1 1/2"	100	0	0,0	0,0
1"	100	0	0,0	0,0
3/4"	100	0,10	1,1	1,1
1/2"	99,9	16,26	185,3	186,4
3/8"	83,6	9,74	111,1	297,5
N° 4	73,9	22,54	256,9	554,4
N° 8	51,4	14,28	162,8	717,2
N° 40	37,1	14,89	169,8	887,0
N° 200	22,2	17,83	253,0	1140,0
Peso total de agregados			1140	
Cemento asfáltico			60	
Peso total de briqueta			1200	

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.4. Dosificación con 5,5 % de cemento asfáltico.

Tabla 3.57 Dosificación con cemento asfáltico de 5,5 %.

Dosificación cemento asfáltico al 5,5 %				
Tamiz	% pasa	% retenido	Peso parcial (gr.)	Peso acumulado (gr.)
1 1/2"	100	0	0,0	0,0
1"	100	0	0,0	0,0
3/4"	100	0,10	1,1	1,1
1/2"	99,9	16,26	184,4	185,5
3/8"	83,6	9,74	110,5	296,0
N° 4	73,9	22,54	255,6	551,5
N° 8	51,4	14,28	161,9	713,4
N° 40	37,1	14,89	168,9	882,3
N° 200	22,2	17,83	251,7	1134,0
Peso total de agregados			1134	
Cemento asfáltico			66	
Peso total de briqueta			1200	

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.5. Dosificación con 6 % de cemento asfáltico.

Tabla 3.58 Dosificación con cemento asfáltico de 6 %.

Dosificación cemento asfáltico al 6 %				
Tamiz	% pasa	% retenido	Peso parcial (gr.)	Peso acumulado (gr.)
1 1/2"	100	0	0,0	0,0
1"	100	0	0,0	0,0
3/4"	100	0,10	1,1	1,1
1/2"	99,9	16,26	183,4	184,5
3/8"	83,6	9,74	109,9	294,4
N° 4	73,9	22,54	254,2	548,6
N° 8	51,4	14,28	161,1	709,7
N° 40	37,1	14,89	168,0	877,7
N° 200	22,2	17,83	250,3	1128,0
Peso total de agregados			1128	
Cemento asfáltico			72	
Peso total de briqueta			1200	

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.6. Dosificación con 6,5 % de cemento asfáltico.

Tabla 3.59 Dosificación con cemento asfáltico de 6,5 %.

Dosificación cemento asfáltico al 6.5 %				
Tamiz	% pasa	% retenido	Peso parcial (gr.)	Peso acumulado (gr.)
1 1/2"	100	0	0,0	0,0
1"	100	0	0,0	0,0
3/4"	100	0,10	1,1	1,1
1/2"	99,9	16,26	182,4	183,5
3/8"	83,6	9,74	109,3	292,8
N° 4	73,9	22,54	252,9	545,7
N° 8	51,4	14,28	160,2	705,9
N° 40	37,1	14,89	167,1	873,0
N° 200	22,2	17,83	249,0	1122,0
Peso total de agregados			1122	
Cemento asfáltico			78	
Peso total de briqueta			1200	

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.7. Dosificación con 7 % de cemento asfáltico.

Tabla 3.60 Dosificación con cemento asfáltico de 7 %.

Dosificación cemento asfáltico al 7 %				
Tamiz	% pasa	% retenido	Peso parcial (gr.)	Peso acumulado (gr.)
1 1/2"	100	0	0,0	0,0
1"	100	0	0,0	0,0
3/4"	100	0,10	1,1	1,1
1/2"	99,9	16,26	181,4	182,5
3/8"	83,6	9,74	108,7	291,3
N° 4	73,9	22,54	251,5	542,8
N° 8	51,4	14,28	159,3	702,1
N° 40	37,1	14,89	166,2	868,3
N° 200	22,2	17,83	247,7	1116,0
Peso total de agregados			1116	
Cemento asfáltico			84	
Peso total de briqueta			1200	

Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Ensayo de viscosidad Vs. Temperatura para la elaboración de mezclas asfálticas convencionales.

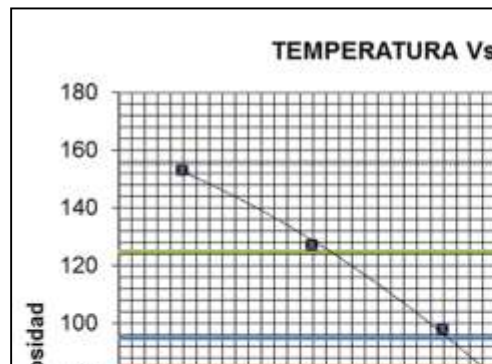
Las temperaturas de trabajo para las diversas etapas del procedimiento Marshall, fueron basadas en las recomendaciones del “Asphalt Institute”, tomándose como referencia la correlación de la curva “viscosidad / temperatura”, conforme gráfico anexo:

Tabla 3.61 Variación de temperatura y viscosidad

Variación temperatura viscosidad		
Punto	Temperatura	Viscosidad
1	125	153
2	135	127
3	145	98
4	155	55

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.29 Gráfica del ensayo de temperatura Vs. viscosidad



Fuente: Elaboración propia

3.6.5. Elaboración de briquetas.

Para la elaboración de las briquetas se tomó en cuenta:

La combinación de agregados, del cual se saca la combinación granulométrica con el que se diseña.

Primero se determina cierta cantidad de agregado (grueso y fino), se lavan las muestras, se llevan al horno y se pesan, hasta que tengan pesos constantes. Posteriormente se tamiza (con tamices establecidos), separando la cantidad correspondiente a cada agregado.

Calentar a la temperatura de mezcla la suficiente cantidad de asfalto para preparar 18 especímenes; tres especímenes compactados por cada porcentaje de contenido de asfalto, los incrementos porcentuales de asfalto son de 0.5% con por lo menos dos contenidos antes y después del óptimo contenido de asfalto.

Nota.- No mantener el ligante por más de una hora a la temperatura de mezcla ni emplear ligante bituminoso recalentado. Durante el período de calentamiento del ligante se debe agitar frecuentemente dentro del recipiente para evitar los sobrecalentamientos se lleva al horno hasta que alcance la temperatura ideal para mezclar.

Fig. 3.30 Pesaje y preparación de agregados



Fuente: Elaboración propia

Para el asfalto se toma una pequeña porción de cemento asfáltico y se calienta a cierta temperatura.

Fig. 3.31 Calentamiento del asfalto para poder elaborar la mezcla.



Fuente: Elaboración propia

Una vez que el asfalto llegue al grado de temperatura correcta se procede a mezclar cemento asfáltico y agregados controlando la temperatura adecuada. El recipiente en el que se realizará la mezcla será manchado con una mezcla de prueba para evitar la pérdida de ligante y finos adheridos al recipiente, se limpiará solamente arrastrando con una espátula todo el material posible. Colocamos la cantidad de agregado requerido y añadimos la cantidad de asfalto caliente necesario y mezclamos el cemento asfáltico y agregados hasta que éstos estén totalmente cubiertos. La mezcla puede hacerse manual o mecánicamente. Cuando la mezcla requiera filler, éste se agregará luego que los agregados estén cubiertos por el ligante.

Verificamos la temperatura de los materiales recién mezclados, si está sobre la temperatura de compactación, dejamos enfriar; si está por debajo, eliminamos el material y preparamos una nueva muestra.

Fig. 3.32 Mezcla a diferentes porcentajes de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Luego se coloca dentro del conjunto del molde y la base del martillo compactador limpios, un disco de papel filtrante de 10 cm de diámetro. Se calientan en el horno o en un baño de agua a una temperatura comprendida entre los 93° a 149°C. Vertemos la mezcla y emparejarla con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Limpiamos el material del collar y montura dentro del molde de tal manera que el medio sea ligeramente más alto que los bordes. Fijar el molde y base en el pedestal. Colocaremos el martillo precalentado dentro del molde.

A la hora de la compactación se debe mantener el eje del martillo de compactación perpendicular a la base del molde durante la compactación.

Retiramos el molde de la base. Colocamos el papel filtrante en la superficie y lo giramos de tal manera que la cara superficial se encuentre abajo. Reemplazo el collar del molde y lo fijo junto con la base en el pedestal. Realizando 75 golpes por cara.

Fig. 3.33 Mezcla-compactación en molde Marshall.



Fuente: Elaboración propia

Después de la compactación removemos la base y colocamos el molde y collar sobre el extractor de muestras. Con el molde y el collar de extensión hacia arriba en la máquina de ensayo, aplicar presión y forzar el espécimen dentro del collar de extensión, levantar el collar del espécimen. Cuidadosamente transferir el espécimen a una superficie plana, dejarlo de pie para que repose de 12 a 24 horas a temperatura ambiente, identificarlos con códigos alfanuméricos usando tiza.

3.6.6. Desarrollo del ensayo estabilidad y fluencia.

Calentar el agua del baño a (60°C) y colocar los especímenes a ser ensayados por un período de 30 minutos. Los especímenes se ubicarán de manera escalonada para que todos los especímenes sean calentados el tiempo especificado antes de ser ensayados.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas de rotura y se engrasan las barras guía con una película de aceite de manera que la mordaza superior se deslice libremente. Luego de calentarlos el tiempo necesario, se irán sacando uno a la vez, quitarles el exceso de agua con una toalla, envolver la briqueta con periódico antes de colocarlo en la mordaza Marshall.

Colocar el medidor de flujo sobre la barra guía marcada y se comprueba la lectura inicial. Aplicar la carga hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye según se lea en el día respectivo. El punto de rotura se define como la carga máxima obtenida y se registra como el valor de estabilidad Marshall. Mientras se está determinando la estabilidad se mantiene firmemente el medidor de deformación; cuando comience a decrecer la carga se anota la lectura. Este será el valor del “flujo” para la muestra, este valor expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura flujo que será convertida la lectura Dial a las unidades que corresponda el equipo. El ensayo se realiza luego de 5 minutos contados desde que se saca el espécimen del baño María.

Nota.- El tiempo total transcurrido entre sacar el espécimen del baño y aplicar la carga es de 60 segundos como máximo. El tiempo total en el agua de baño para cada juego de tres especímenes es entre 30 a 40 minutos.

Fig. 3.34 Pesaje de briquetas

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.35 Estabilidad Marshall.

Fuente: Elaboración propia

3.7. PROCESO DE CÁLCULO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60-70.

3.7.1. Identificación de briquetas.

Se identificó las briquetas de la siguiente manera:

Tabla 3.62 Identificación de briquetas.

% de asfalto	Identificación	% de asfalto	Identificación
4,5	B01	6	B10
	B02		B11
	B03		B12

5	B04	6,5	B13
	B05		B14
	B06		B15
5,5	B07	7	B16
	B08		B17
	B09		B18

Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Altura de briquetas.

Las briquetas se dividen en cuatro para poder lecturar, ya que la altura de cada briketa al no ser uniforme es necesario sacar un promedio de estas lecturas.

Tabla 3.63 Altura de briquetas.

Identificación	Altura (cm)	Promedio
B01	6,41	6,45
	6,47	
	6,46	
B02	6,47	6,46
	6,45	
	6,46	
B03	6,41	6,45
	6,47	
	6,48	

Fuente: Elaboración propia

3.7.3. Base mezcla y agregado.

Se debe tomar el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas para la base de mezcla, en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4,5 %.

Para la base del agregado se realiza el siguiente procedimiento:

$$\text{Base de agregado} = \frac{\text{Base de mezcla} * 100}{100 - \text{Base de mezcla}}$$

$$\text{Base de agregado} = \frac{4,5 \% * 100}{100 - 4,5 \%}$$

$$\text{Base de agregado} = 4,71 \text{ (adi)}$$

3.7.4. Peso de briqueta en el aire.

La briqueta una vez desmoldada debe limpiarse superficialmente y pesarla en el aire.

Tabla 3.64 Peso de briqueta en el aire.

% de asfalto	Identificación	Peso al aire (gr.)
4,5	B01	1192,3
	B02	1190,5
	B03	1190,5

Fuente: Elaboración propia

3.7.5. Peso de briqueta en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S.)

La briqueta debe sumergirse en agua por un lapso de 30 minutos a 25 °C, luego de ese lapso de tiempo se debe secar y pesar en el aire.

Tabla 3.65 Peso de briqueta en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S.)

Peso briqueta en el aire S.S.S.		
% de asfalto	Identificación	Peso al aire S.S.S. (gr.)
4,5	B01	1195,2
	B02	1194,5
	B03	1193

Fuente: Elaboración propia

3.7.6. Peso de briqueta sumergida en agua.

La briqueta elaborada debe ser sumergida en agua por 30 minutos a una temperatura de 25°C y en ese lapso se debe medir su peso sumergido.

Tabla 3.66 Peso de briqueta sumergida

Peso briqueta sumergida		
% de asfalto	Identificación	Peso sumergido (gr.)
4,5	B01	676,5
	B02	673,9
	B03	675,3

Fuente: Elaboración propia

3.7.7. Volumen de la briqueta.

Proceso de cálculo:

Volumen briqueta=Peso briqueta en el aire S. S. S. –Peso briqueta sumergida

Volumen briqueta=1195,2 – 676,5

Volumen briqueta= 518,7 (gr.)

Debido a que el peso del agua y su peso específico es 1 gr/cm³ consideramos:

Volumen briqueta= 518,7 (cm³.)

3.7.8. Densidad real de la briqueta.

Densidad real= $\frac{\text{Peso de briqueta en el aire}}{\text{Volumen de la muestra}}$

Densidad real= $\frac{1192,3}{518,7}$

Densidad real=2,299 ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)

3.7.9. Densidad máxima teórica de la briqueta.

Densidad máx. teórica= $\frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{\text{Peso espec. asfalto}} + \frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso espec. agregado grueso}}}$

Densidad máx. teórica= $\frac{100}{\frac{4,5}{1,035} + \frac{100 - 4,5}{2,662}}$

Densidad máx. teórica=2,486 ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)

3.7.10. Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).

Vv= $\frac{\text{Densidad máx. teórica}-\text{Densidad real promedio}}{\text{Densidad máx. teórica}}$

Vv= $\frac{2,486 - 2,295}{2,486}$

Vv=0,0768 * 100

Vv=7,68 %

3.7.11. Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM).

VAM= $\frac{\% \text{ asfalto} * \text{Densidad real promedio}}{\text{Peso espec. asfalto}} + Vv$

VAM= $\frac{4,5 * 2,295}{1,035} + 7,68$

VAM=17,66 %

3.7.12. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV).

$$RBV = \frac{VAM - Vv}{VAM}$$

$$RBV = \frac{17,66 - 7,68}{17,66}$$

$$RBV = 0,5651 * 100$$

$$RBV = 56,51 \%$$

3.7.13. Estabilidad y fluencia.

Medidas mediante el uso de la prensa Marshall.

Tabla 3.67 Datos ensayo de estabilidad y fluencia

Datos ensayo		
Identificación	Estabilidad (Kg)	Fluencia dial
B ₀₁	1172	280,0
B ₀₂	986	290,0
B ₀₃	893	300,0

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la calibración de la prensa Marshall mediante la siguiente fórmula

Estabilidad real

Donde:

FC = Es el factor de corrección de Kg. a lb. (2,15)

Lectura Dial = La lectura inicial que se realiza al emplear el equipo Marshall.

$$\text{Estabilidad Real} = 1172 * 2,15$$

$$\text{Estabilidad Real} = 2519,9 \text{ (lb)}$$

Tabla 3.68 Estabilidad real

Estabilidad				
Identificación	Lectura dial	Lectura (Kg)	Real (lb)	Promedio (lb)
B01	545	1172	2519,9	11,42
B02	459	986	2113,8	
B03	415	893	1918,8	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.69 Altura promedio y factor de corrección por altura

Identificación	Promedio de alturas (cm)	Factor de corrección	Promedio Factor de corrección
B01	6,45	0,975	0,974
B02	6,46	0,973	
B03	6,45	0,975	

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el cálculo de la estabilidad corregida:

Donde:

Factor corrección altura = Es el factor de corrección cuando una altura es diferente de 63,5 mm.

Lectura Dial = La lectura inicial que se realiza al emplear el equipo Marshall.

Estabilidad Corregida = Estabilidad * factor corrección altura

Estabilidad Corregida = 2242,03 * 0,974

Estabilidad Corregida = 2184,113 (lb)

Tabla 3.70 Estabilidad corregida

Identificación	Estabilidad real promedio (lb)	Promedio factor de corrección	Estabilidad corregida (lb)
B ₀₁	2242,03	0,974	2184,113
B ₀₂			
B ₀₃			

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el cálculo de la fluencia corregida:

$$\text{Fluencia corregida} = \frac{\text{Fluencia dial}}{2,54}$$

$$\text{Fluencia corregida} = \frac{280}{2,54}$$

$$\text{Fluencia corregida} = 11,024 \text{ (adi)}$$

Tabla 3.71 Fluencia corregida

Identificación	Fluencia dial	Fluencia 1/100"	Fluencia 1/100" promedio
B ₀₁	280	11,024	11,42
B ₀₂	290	11,417	
B ₀₃	300	11,811	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.72 Resultados estabilidad - fluencia

Identificación	Estabilidad real (lb)	Fluencia 1/100 "
B ₀₁	2520	11,02
B ₀₂	2114	11,42

B03	1919	11,81
Promedio	2184	11,42

Fuente: Elaboración propia

3.8. RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60-70.

Tabla 3.73 Resultado del diseño de la mezcla asfáltica convencional 60-70.

Resultados diseño marshall-mezcla asfáltica								
% de Asfalto	Identificación	Altura promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos de agregado (VAM)	% Vacíos lleno de asfalto (RBV)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100" (plg)
4,5	B01	6,45	2,30	7,68	17,66	56,51	2520	0,11
	B02	6,46	2,29				2114	0,11
	B03	6,45	2,30				1919	0,12
5	B04	6,36	2,32	6,13	17,32	64,61	2578	0,1
	B05	6,36	2,32				2578	0,11
	B06	6,45	2,31				2320	0,11
5,5	B07	6,31	2,35	4,11	16,60	75,21	2613	0,09
	B08	6,30	2,35				2618	0,11
	B09	6,29	2,34				2417	0,1
6	B10	6,31	2,35	3,23	16,87	80,88	2474	0,13
	B11	6,30	2,35				2410	0,11
	B12	6,24	2,36				2448	0,1
6,5	B13	6,24	2,37	1,99	16,85	88,21	2025	0,13
	B14	6,20	2,37				1976	0,11
	B15	6,25	2,37				2092	0,14
7	B16	6,30	2,35	1,83	17,75	89,69	1924	0,17
	B17	6,25	2,35				1388	0,19
	B18	6,25	2,35				1669	0,14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.74 Aporte porcentual de agregados en peso

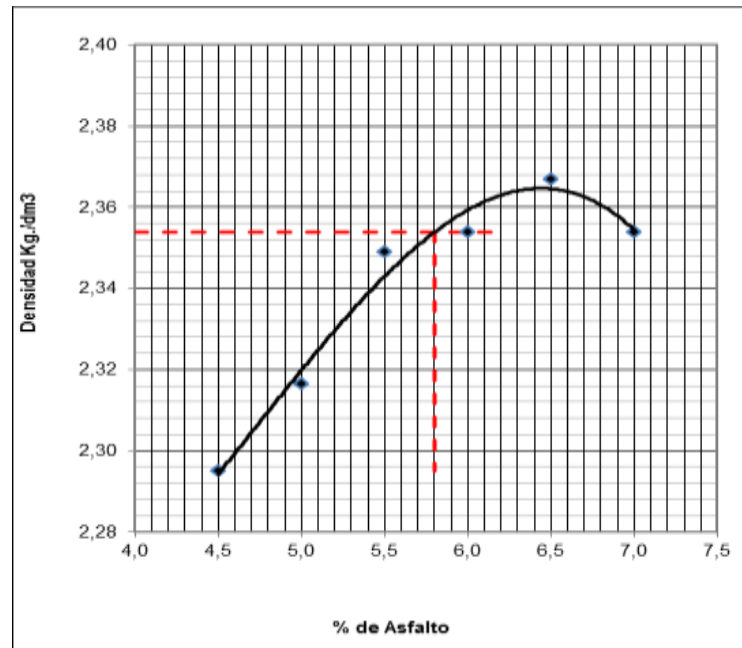
Resumen de valores marshall con diferentes contenidos de asfalto							
Descripción	Unidad	1	2	3	4	5	6
% asfalto	%	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Densidad máxima teórica	grs /cm ³	2,486	2,468	2,450	2,432	2,415	2,398
Densidad real	grs /cm ³	2,295	2,317	2,349	2,354	2,367	2,354
% de Vacíos mezcla total	%	7,68	6,13	4,11	3,23	1,99	1,83
V.A.M. (Vacíos agregados mineral)	%	17,66	17,32	16,60	16,87	16,85	17,75
R.B.V. (Relación betumen vacíos)	%	56,51	64,61	75,21	80,88	88,21	89,69
Estabilidad marshall	Libras	2184,17	2491,90	2549,4	2444,1	2030,7	1660,5
Flujo	1/100 plg	11,42	10,43	9,91	11,35	12,60	16,67

Fuente: Elaboración propia

En función de la faja de trabajo se realizó el ensayo DISEÑO DE MEZCLAS EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL, el cual exige material que pasa el tamiz de una pulgada ” realizándose el cálculo, revisión para el contenido óptimo y las cantidades de aporte porcentual en peso de los áridos para la mezcla y la definición de la curva de trabajo para el diseño.

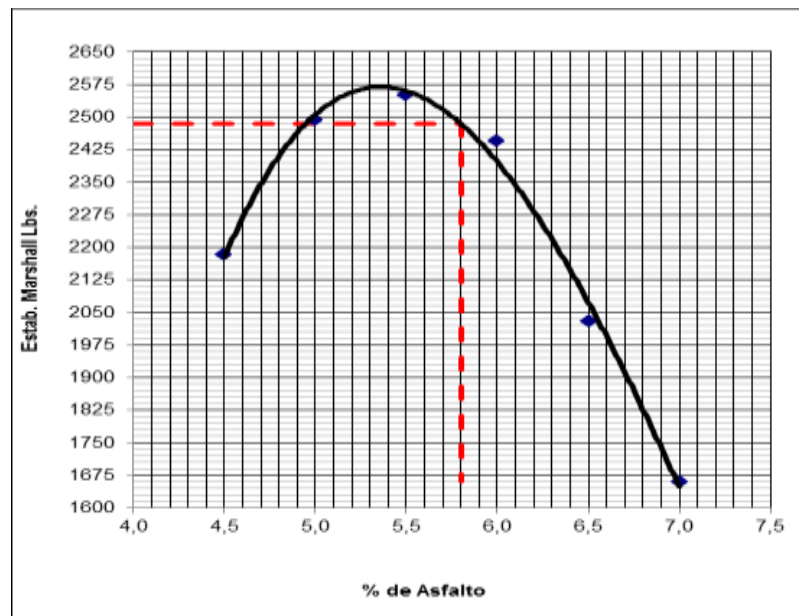
Para la selección del porcentaje óptimo de asfalto ingresamos a la gráfica volúmenes de vacíos Vs Porcentaje de asfalto, con un % de vacíos del 4.5% hasta el 7.5 % y seleccionamos el contenido óptimo de asfalto.

Fig. 3.36 Densidad Vs. % de asfalto



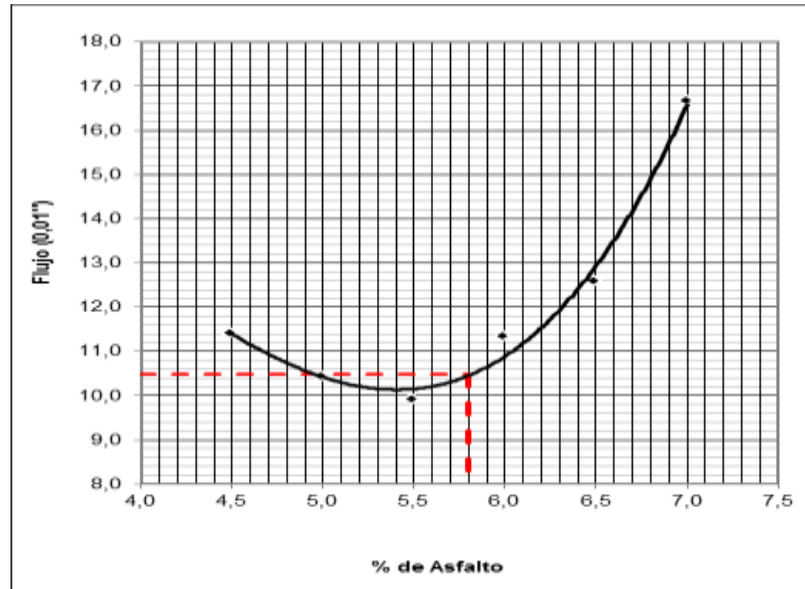
Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.37 Estabilidad Marshall Vs. % de asfalto



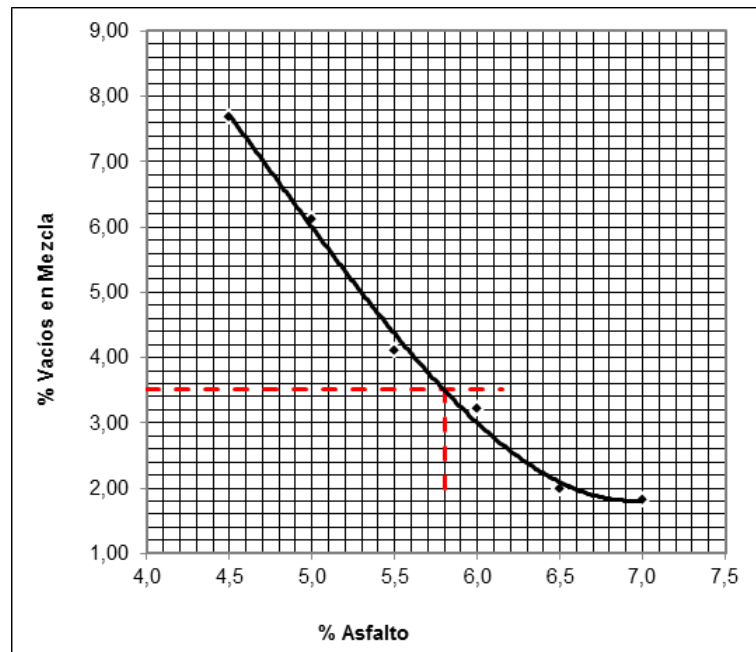
Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.38 Flujo Vs. % de asfalto



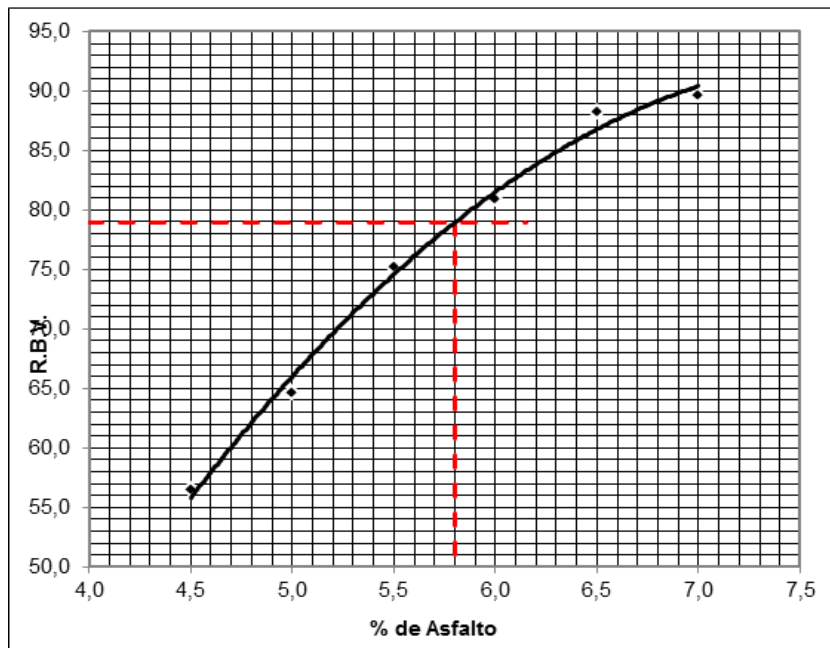
Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.39 % vacíos Vs. % de asfalto



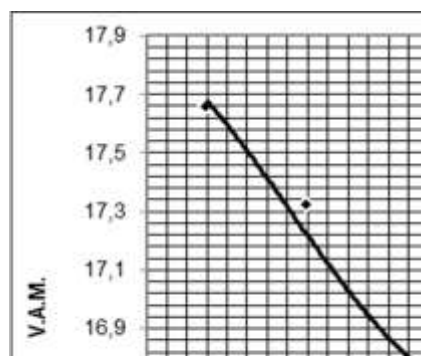
Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.40 RBV Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.41 VAM Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.75 Determinación del contenido óptimo de asfalto, tomando en cuenta el Criterio de % de Vacíos en Mezcla y R.B.V.

Determinación del contenido óptimo de asfalto, tomando en cuenta el criterio de % de vacíos en mezcla y R.B.V.	
Ensayo	% asfalto
% de Vacíos en la mezcla	5,63
Relación betumen vacíos	5,80
Promedio en %	5,72
Redondeo	5,8

Fuente: Elaboración propia

3.9. MATERIALES CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO.

Donde:

% C.A. = Porcentaje de cemento asfáltico óptimo mezcla definitiva (%)

PST = Peso total de la mezcla (gr)

PSA = Peso seco total de los agregados (gr)

PA (1) = Peso agregados retenidos parciales (gr)

PP (1) = Peso agregados retenidos acumulados (gr)

PA (2) = Peso agregados retenidos parciales. En el tamiz pasa N° 40 se acumula hasta el retenido en el fondo (gr)

PP (2) = Peso agregados retenidos acumulados. En el tamiz pasa N° 40 se acumula hasta el retenido en el fondo (gr)

Tabla 3.76 Datos mezcla-cemento asfáltico 60-70 c/5 briquetas

Tamiz		Porcentaje que pasa	Porcentaje retenido	% C.A.	PST.(gr)	PSA.(gr)	PP(2) (gr)
Pasa	Retiene			5,8	1200	1130,4	
				PA (1) (gr)	PP (1) (gr)	PA(2) (gr)	
2"	1 1/2"	100	0	0	0	0	0
1 1/2"	1"	100	0	0	0	0	0

1"	3/4"	100,0	0,1	1,1	1,1	1,1	1,1
3/4"	1/2"	99,9	16,3	183,8	184,9	183,8	184,9
1/2"	3/8"	83,6	9,7	110,1	295,0	110,1	295,0
3/8"	N° 4	73,9	22,5	254,7	549,8	254,7	549,8
N° 4	N° 8	51,4	14,3	161,4	711,2	161,4	711,2
N° 8	N° 40	37,1	14,9	168,4	879,5	168,4	879,5
N° 40	N° 200	22,2	17,8	201,5	1081,1	250,9	1130,4
N° 200	Fondo	4,4	4,4	49,3	1130,4		
Suma total agregados(gr)				1130,4		1130,4	
Cemento asfáltico (gr)				69,6			
Total de la briqueta (gr)				1200			

Fuente: Elaboración propia

3.10. PREPARACIÓN DE BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE DE ADITIVO AL 3%, 8% Y 15%.

El cálculo para usar un aditivo del 3%, 5 %, 8 % y 15 % respecto al porcentaje de cemento asfáltico óptimo se realiza con el porcentaje óptimo de asfalto el cual es de 5.8 % por lo tanto según la dosificación para cada briqueta de 1200 gr se debe de utilizar 69.6 gr de cemento asfáltico en cada briqueta.

3.10.1. Cálculo de cemento asfáltico para 5 briquetas.

Si cada briqueta contiene

Cemento Asfáltico gr

Cinco briquetas contienen:

Cemento Asfáltico gr

Cemento Asfáltico gr

Por pérdidas se redondeará a 400 gr de preparado para 5 briquetas

Cemento Asfáltico gr

La cantidad de 400 gr Está calculada para cinco briquetas, sin tomar en cuenta el porcentaje de aditivo así que se procede al cálculo de 5 briquetas a cierto porcentaje de aditivo:

3.10.2. Cálculo de 3 % de aditivo para 5 briquetas.

Para el cálculo de cinco briquetas de 400 gr de cemento asfáltico, con un porcentaje de aditivo del 3%:

Cemento Asfáltico=400 gr.

Aditivo(%)=3 %

$$\text{Aditivo (gr.)}=400 * \frac{3}{100}$$

Aditivo (gr.)=12 gr.

3.10.3. Cálculo de 8 % de aditivo para 5 briquetas.

Para el cálculo de cinco briquetas de 400 gr de cemento asfáltico, con un porcentaje de aditivo del 8%:

Cemento Asfáltico=400 gr.

Aditivo (%)=8 %

$$\text{Aditivo (gr.)}=400 * \frac{8}{100}$$

Aditivo (gr.)=32 gr.

3.10.4. Cálculo de 15 % de aditivo para 5 briquetas.

Para el cálculo de cinco briquetas de 400 gr De cemento asfáltico, con un porcentaje de aditivo del 15%

Cemento Asfáltico=400 gr.

Aditivo(%)=15 %

$$\text{Aditivo (gr.)}=400 * \frac{15}{100}$$

Aditivo (gr.)=60 gr.

Tabla 3.77 Datos mezcla aditivo cemento asfáltico 60-70 c/5 briquetas

% de aditivo	Aditivo (gr)	Cemento asfáltico (gr)	Mezcla (gr)
0	0	400	400
3	12	400	412
8	32	400	432
15	60	400	460

Fuente: Elaboración propia

Nota.- El cálculo que se realizó en el presente trabajo de investigación fue de cinco en cinco briquetas, sin embargo para posteriores estudios, pueden realizar de 10 en 10 briquetas o el número que vea conveniente el investigador, cuyo ejemplo descrito anteriormente, le servirá para optar por el número de briquetas que desee, dependiendo de la habilidad y rapidez con la que elabore sus briquetas, a mayor número de briquetas se tiene mayor dificultad según mi experiencia, es por eso que se tomó la decisión de realizar las briquetas de cinco en cinco y repetir el procedimiento para llegar al número de briquetas final necesario en el presente proyecto de investigación. Se realiza el pesaje de los diferentes porcentaje de aditivo calculados (como se observa en la figura 3.42 para proceder a mezclarlo con los 400 gr de cemento asfáltico y conformar el cemento asfáltico para conformar los 1200 gr.

Fig. 3.42 Pesaje e identificación de aditivo

Fuente: Elaboración propia

3.11. ELABORACIÓN DE BRIQUETAS CON PORCENTAJE DE ADITIVO.

Ya se tiene calculado la cantidad de cemento asfáltico de 400gr para 5 briquetas mezclada con su correspondiente % de aditivo utilizado para completar los 1200 gr de la briqueta.

Fig. 3.43 Mezcla cemento asfáltico más aditivo



Fuente: Elaboración propia

Posterior a esto se realiza la elaboración de briquetas a una temperatura de compactación de 135°C y mezcla de 150°C según el ensayo de viscosidad saybolt

Fig. 3.44 Preparado de briquetas con porcentaje óptimo de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.45 Briquetas a diferentes porcentajes de aditivo



Fuente: Elaboración propia

3.12. CONDICIONES DE HUMEDAD EN LA MEZCLA

3.12.1. Tipos de humedad

Los tipos de humedades a la cual fueron sometidas las briquetas, están elegidos según la influencia de la misma respecto al tiempo de inmersión. Como ser:

- ✦ Condición Media.- Las briquetas serán sometidas al 50 % de humedad inicial en un lapso de 24 hrs. tomando en cuenta el peso del material a humedecer, el peso de agua obtenidos mediante los cálculos presentados a continuación, luego de realizado el trabajo de gabinete y llevado a laboratorio se verificara la humedad calculada con la real mediante el uso del equipo medidor testo:

Condición media al 50 % aproximadamente (prueba)

DATOS:

Pseco= 0,066 Kg.

H=50 %

Pagua=0,033 Kg.

Ptotal=0,099 Kg.

$$\%H = \frac{\text{Pagua}}{\text{Pseco}} * 100$$

$$\text{Pagua} = \frac{\%H}{100} * \text{Pseco}$$

$$\text{Pagua} = \frac{50}{100} * 0.066$$

Pagua=0.033 Kg.

Fig. 3.46 Verificación condición de humedad mediante el equipo Testo



Fuente: Elaboración propia

- ✦ **Condición Húmeda.**- Las briquetas serán sometidas al 80 % de humedad inicial realizando los cálculos respectivos explicados en el anterior párrafo, de igual manera tomando en cuenta el peso del material a humedecer y el peso de agua que se añadirá al mismo para obtener el 80 % de humedad, luego de realizado el trabajo de gabinete y llevado a laboratorio se verifica de igual manera la humedad real con el equipo medidor testo.

3.12.2. Acondicionamiento de briquetas

3.12.2.1. Condición seca inicial

La condición seca inicial o natural es la condición en la cual se presentan las briquetas luego de desmoldarlas.

Fig. 3.47 Desmolde y limpieza de briquetas

Fuente: Elaboración propia

Se procede al pesaje en seco de las briquetas, de igual manera la lectura de su altura, posterior las briquetas *no son sometidas a baño maría*, estas briquetas en su estado natural se las somete a la prensa Marshall, obteniendo de ésta manera la estabilidad y fluencia de briquetas modificadas con aditivo al 0%, 3%, 8% y 15%, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico en condición seca inicial,

Tabla 3.78 Datos acondicionamiento condición seca inicial

DATOS Acondicionamiento Condición seca inicial					
NºBriqueta	Peso Seco (gr.)	alt1 (cm)	alt2 (cm)	alt3 (cm)	alt4 (cm)
B41	1190,86	6,19	6,19	6,18	6,19
B42	1192,16	6,26	6,20	6,18	6,27
B43	1188,98	6,32	6,26	6,34	6,24
B44	1190,92	6,18	6,18	6,22	6,26
B45	1189,38	6,17	6,19	6,17	6,33
B46	1194,14	6,23	6,22	6,24	6,29
B47	1193,50	6,30	6,25	6,21	6,26
B48	1189,22	6,32	6,18	6,21	6,23
B49	1190,62	6,22	6,20	6,24	6,24
B50	1191,37	6,25	6,21	6,22	6,27
B51	1190,29	6,20	6,22	6,25	6,26
B52	1191,53	6,21	6,20	6,19	6,31

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.79 Resultados acondicionamiento condición seca inicial

Resultados acondicionamiento condición seca inicial		
NºBriqueta	altura promedio (cm)	% aditivo
B41	6,19	0
B42	6,23	0
B43	6,29	0
B44	6,21	3
B45	6,21	3
B46	6,25	3
B47	6,26	8
B48	6,24	8
B49	6,23	8
B50	6,24	15
B51	6,23	15
B52	6,23	15

Fuente: Elaboración propia

3.12.2.2. Condición seca

Previamente al acondicionamiento de la condición seca, se procede al pesaje en seco de las briquetas, de igual manera la lectura de su altura.

Fig. 3.48 Lectura de altura y pesaje de briquetas



Fuente: Elaboración propia

Posterior las briquetas son sometidas a baño maría, controlando una temperatura de 60 °C por 5 minutos para luego realizar la rotura de briquetas obteniendo de ésta manera la estabilidad y fluencia de briquetas modificadas con aditivo al 0%, 3%, 8% y 15%, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico del 5.8 % en condición seca o condición normal,

Tabla 3.80 Datos acondicionamiento condición seca

Datos acondicionamiento condición seca						
N° Briqueta	Peso seco (gr.)	alt1 (cm)	alt2 (cm)	alt3 (cm)	alt4 (cm)	Peso húmedo (gr.)
B1	1185,2	6,17	6,16	6,11	6,13	1186,3
B2	1191,2	6,19	6,23	6,16	6,13	1192,0
B3	1190,6	6,17	6,29	6,11	6,19	1191,5
B6	1190,8	6,38	6,39	6,12	6,22	1192,4
B7	1200,0	6,18	6,22	6,31	6,39	1201,0
B8	1191,3	6,25	6,12	6,17	6,37	1192,2
B11	1178,6	6,6	6,18	6,29	6,17	1180,5
B12	1191,3	6,16	6,11	6,39	6,34	1192,4
B13	1188,6	6,5	6,5	6,28	6,23	1189,8
B32	1191,7	6,27	6,31	6,27	6,21	1192,8
B33	1194,7	6,28	6,18	6,24	6,37	1195,7
B34	1194,0	6,31	6,22	6,25	6,35	1195,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.81 Resultados acondicionamiento condición seca

Resultados acondicionamiento condición seca			
N° Briqueta	Altura promedio (cm)	% aditivo (%)	Peso agua (gr)
B1	6,14	0	1,1
B2	6,18	0	0,8
B3	6,19	0	0,9
B6	6,28	3	1,6
B7	6,28	3	1
B8	6,23	3	0,9
B11	6,31	8	1,9

B12	6,25	8	1,1
B13	6,38	8	1,2
B32	6,27	15	1,1
B33	6,27	15	1
B34	6,28	15	1,4

Fuente: Elaboración propia

3.12.2.3. Condición media

Se realiza el pesaje de la mezcla de aserrín grueso y fino, para obtener un acondicionamiento constante de humedad media, se realiza la mezcla homogénea de agua y aserrín como se observa en la figura controlando la humedad media calculada con el equipo testo.

Condición media al 50 % aproximadamente (laboratorio)

DATOS:

Pseco= 2,274 Kg.

H=50 %

Pagua= 1,137 Kg.

Ptotal=3,411 Kg.

$$\%H = \frac{P_{agua}}{P_{seco}} * 100$$

$$P_{agua} = \frac{\%H}{100} * P_{seco}$$

$$P_{agua} = \frac{50}{100} * 2,274$$

Pagua=1,137 Kg.

Fig. 3.49 Mezcla homogénea aserrín-agua y control de humedad

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.82 Datos acondicionamiento condición media

Datos acondicionamiento condición media						
NºBriqueta	Peso seco (gr.)	alt1 (cm)	alt2 (cm)	alt3 (cm)	alt4 (cm)	Peso húmedo (gr.)
B37	1185,2	6,19	6,18	6,13	6,15	1187,55
B38	1191,2	6,06	6,10	6,03	6,00	1193,98
B39	1190,6	6,22	6,34	6,16	6,24	1193,25
B22	1190,8	6,33	6,34	6,07	6,17	1193,5
B23	1200	6,09	6,13	6,22	6,30	1201,12
B24	1191,3	6,30	6,17	6,22	6,42	1192,32
B27	1195,9	6,34	6,41	6,24	6,25	1197,92
B28	1197,6	6,22	6,15	6,19	6,42	1198,82
B29	1192,6	6,15	6,25	6,36	6,31	1194,94
B19	1191,1	6,19	6,13	6,22	6,29	1193,31
B20	1193,2	6,14	6,27	6,29	6,45	1195,37
B31	1191,3	6,25	6,17	6,17	6,43	1193,83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.83 Resultados acondicionamiento condición media

Resultados acondicionamiento condición media			
N°Briqueta	altura promedio (cm)	% aditivo	Peso agua (gr)
B37	6,16	0	2,35
B38	6,05	0	2,78
B39	6,24	0	2,65
B22	6,23	3	2,7
B23	6,18	3	1,12
B24	6,27	3	1,02
B27	6,31	8	2,02
B28	6,24	8	1,22
B29	6,27	8	2,34
B19	6,21	15	2,21
B20	6,29	15	2,17
B31	6,26	15	2,53

Fuente: Elaboración propia

3.12.2.4. Condición húmeda

Se realiza el mismo cálculo que en el punto 3.12.2.3 de la condición media, sólo que en éste caso se realizará el cálculo para una humedad del 80 %. De manera que se presentará directamente los datos y resultados ya que el procedimiento es el mismo que el de la condición media.

Tabla 3.84 Datos acondicionamiento condición húmeda

Datos acondicionamiento condición húmeda						
N°Briqueta	Peso seco (gr.)	alt1 (cm)	alt2 (cm)	alt3 (cm)	alt4 (cm)	Peso húmedo (gr.)
B4	1190,8	6,38	6,39	6,12	6,22	1193,98
B5	1200	6,18	6,22	6,31	6,39	1201,24
B36	1191,3	6,25	6,12	6,17	6,37	1193,21
B9	1185,2	6,17	6,16	6,11	6,13	1187,67
B10	1191,2	6,19	6,23	6,16	6,13	1194,1
B21	1190,6	6,17	6,29	6,11	6,19	1193,37
B14	1191,1	6,19	6,13	6,22	6,28	1193,43

B15	1193,2	6,14	6,27	6,29	6,29	1195,72
B26	1191,3	6,25	6,17	6,17	6,24	1194,61
B16	1195,9	6,34	6,41	6,24	6,17	1198,04
B17	1197,6	6,22	6,15	6,19	6,31	1198,94
B18	1192,6	6,15	6,25	6,36	6,29	1195,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.85 Resultados acondicionamiento condición húmeda

Resultados acondicionamiento condición húmeda			
NºBriqueta	Altura promedio (cm)	% aditivo	Peso agua (gr)
B4	6,28	0	3,18
B5	6,28	0	1,24
B36	6,23	0	1,91
B9	6,14	3	2,47
B10	6,18	3	2,9
B21	6,19	3	2,77
B14	6,21	8	2,33
B15	6,25	8	2,52
B26	6,21	8	3,31
B16	6,29	15	2,14
B17	6,22	15	1,34
B18	6,26	15	2,46

Fuente: Elaboración propia

3.13. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES A DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD

3.13.1. Condición seca inicial

En la presente condición no se lectura la humedad puesto que las briquetas realizadas no se sometieron a ningún ambiente de humedad inducida, se realizó los pasos del punto 3.12.2.1 para proceder a realizar el desmolde de las briquetas y la rotura en condición seca inicial (sin sometimiento a baño maría), es por éste motivo que en éste punto no se obtuvo valores de humedades.

3.13.1.1. Estabilidad

Fig. 3.50 Lectura de estabilidad y fluencia a condición inicial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.86 Resultados estabilidad condición seca inicial

Resultados estabilidad condición seca inicial			
N°Briqueta	% Humedad	% Aditivo	estabilidad lect. dial
B41	----	0	545
B42	----	0	538
B43	----	0	540
B44	----	3	535
B45	----	3	567
B46	----	3	543
B47	----	8	500
B48	----	8	503
B49	----	8	542
B50	----	15	555
B51	----	15	542
B52	----	15	534

Fuente: Elaboración propia

3.13.1.2. Fluencia

Tabla 3.87 Resultados fluencia condición seca inicial

Resultados fluencia condición seca inicial			
NºBriqueta	% Humedad	% Aditivo	Fluencia (mm)
B41	----	0	2,60
B42	----	0	2,30
B43	----	0	2,50
B44	----	3	2,80
B45	----	3	2,74
B46	----	3	2,78
B47	----	8	2,80
B48	----	8	2,95
B49	----	8	2,80
B50	----	15	2,40
B51	----	15	2,93
B52	----	15	2,64

Fuente: Elaboración propia

3.13.2. Condición seca

En la presente condición no hubo necesidad de lecturar la humedad ya que las briquetas no se sometieron un ambiente de humedad inducida, simplemente se realizó los pasos del punto 3.12.2.1 para proceder a realizar la rotura de briquetas en condición seca o normal (según ensayo Marshall), es por éste motivo que en éste punto no se obtuvo valores de diferentes porcentajes.

3.13.2.1. Estabilidad

Fig. 3.51 Lectura de estabilidad y fluencia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.88 Resultados estabilidad condición seca

Resultados estabilidad condición seca			
NºBriqueta	% Humedad	% Aditivo	Estabilidad Lect. Dial
B1	----	0	550
B2	----	0	540
B3	----	0	550
B6	----	3	540
B7	----	3	570
B8	----	3	550
B11	----	8	515
B12	----	8	512
B13	----	8	550
B32	----	15	560
B33	----	15	540
B34	----	15	540

Fuente: Elaboración propia

3.13.2.2. Fluencia**Tabla 3.89 Resultados fluencia condición seca**

Resultados fluencia condición seca			
NºBriqueta	% Humedad	% Aditivo	Fluencia (mm)
B1	----	0	2,70
B2	----	0	2,40
B3	----	0	2,60
B6	----	3	2,90
B7	----	3	2,80
B8	----	3	2,85
B11	----	8	2,90
B12	----	8	3,00
B13	----	8	2,90
B32	----	15	2,50
B33	----	15	3,00
B34	----	15	2,70

Fuente: Elaboración propia

3.13.3. Condición media

En la presente condición se realizó la rotura de briquetas a condición media obteniendo de ésta manera diferentes porcentajes de humedad los cuales se lecturaron en 4 direcciones cada dos minutos por briqueta como se observa en la figura.

Fig. 3.52 Lectura humedad condición media de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.90 Datos porcentaje de humedad en condición media

Datos % de humedad condición media						
NºBriqueta	Hora	Fecha	% H1(der sup)	% H2(der inf)	% H3(izq sup)	% H4(izq inf)
B37	12:00	27/09/2017	56	54,1	47,6	48,8
B37	14:00	27/09/2017	56,1	55,15	48,3	49,54
B37	16:00	27/09/2017	56,2	56,25	49,4	50,64
B37	18:00	27/09/2017	56,3	57,3	50,1	51,38
B37	20:00	27/09/2017	57,04	58,04	50,84	52,12
B37	8:00	28/09/2017	57,14	58,78	51,58	52,86
B37	10:00	28/09/2017	57,59	59,83	52,28	53,6
B37	12:00	28/09/2017	57,69	60,88	52,98	54,34
B38	12:02	27/09/2017	56,01	54,11	47,61	48,81
B38	14:02	27/09/2017	56,25	55,30	48,45	49,69
B38	16:02	27/09/2017	56,65	56,70	49,85	51,09
B38	18:02	27/09/2017	56,40	57,40	50,20	51,48

B38	20:02	27/09/2017	57,78	58,78	51,58	52,86
B38	8:02	28/09/2017	57,24	58,88	51,68	52,96
B38	10:02	28/09/2017	58,04	60,28	52,73	54,05
B38	12:02	28/09/2017	57,84	61,03	53,13	54,49
B39	12:04	27/09/2017	56,02	54,12	47,62	48,82
B39	14:04	27/09/2017	56,40	55,45	48,60	49,84
B39	16:04	27/09/2017	57,10	57,15	50,30	51,54
B39	18:04	27/09/2017	56,50	57,50	50,30	51,58
B39	20:04	27/09/2017	58,52	59,52	52,32	53,60
B39	8:04	28/09/2017	57,34	58,98	51,78	53,06
B39	10:04	28/09/2017	58,49	60,73	53,18	54,50
B39	12:04	28/09/2017	57,94	61,13	53,23	54,67
B22	12:06	27/09/2017	56,04	54,14	47,64	48,84
B22	14:06	27/09/2017	56,55	55,60	48,75	49,99
B22	16:06	27/09/2017	57,55	57,60	50,75	51,99
B22	18:06	27/09/2017	56,60	57,60	50,40	51,68
B22	20:06	27/09/2017	59,26	60,26	53,06	54,34
B22	8:06	28/09/2017	57,44	59,08	51,88	53,16
B22	10:06	28/09/2017	58,94	61,18	53,63	54,95
B22	12:06	28/09/2017	58,22	61,41	53,51	54,95
B23	12:08	27/09/2017	56,05	54,15	47,65	48,85
B23	14:08	27/09/2017	56,70	55,75	48,90	50,14
B23	16:08	27/09/2017	58,00	58,05	51,20	52,44
B23	18:08	27/09/2017	56,70	57,70	50,50	51,78
B23	20:08	27/09/2017	60,00	61,00	53,80	55,08
B23	8:08	28/09/2017	57,54	59,18	51,98	53,26
B23	10:08	28/09/2017	59,39	61,63	54,08	55,40
B23	12:08	28/09/2017	58,50	61,69	53,79	55,23
B24	12:10	27/09/2017	56,06	54,16	47,66	48,86
B24	14:10	27/09/2017	56,85	55,90	49,05	50,29
B24	16:10	27/09/2017	58,45	58,50	51,65	52,89
B24	18:10	27/09/2017	56,80	57,80	50,60	51,88
B24	20:10	27/09/2017	60,74	61,74	54,54	55,82
B24	8:10	28/09/2017	57,64	59,28	52,08	53,36
B24	10:10	28/09/2017	59,84	62,08	54,53	55,85
B24	12:10	28/09/2017	58,78	61,97	54,07	55,51
B27	12:12	27/09/2017	56,07	54,17	47,67	48,87
B27	14:12	27/09/2017	57,00	56,05	49,20	50,44
B27	16:12	27/09/2017	58,90	58,95	52,10	53,34

B27	18:12	27/09/2017	56,90	57,90	50,70	51,98
B27	20:12	27/09/2017	61,48	62,48	55,28	56,56
B27	8:12	28/09/2017	57,74	59,38	52,18	53,46
B27	10:12	28/09/2017	60,29	62,53	54,98	56,30
B27	12:12	28/09/2017	59,06	62,25	54,35	55,79
B28	12:14	27/09/2017	56,08	54,18	47,68	48,88
B28	14:14	27/09/2017	57,15	56,20	49,35	50,59
B28	16:14	27/09/2017	59,35	59,40	52,55	53,79
B28	18:14	27/09/2017	57,00	58,00	50,80	52,08
B28	20:14	27/09/2017	62,22	63,22	56,02	57,30
B28	8:14	28/09/2017	57,84	59,48	52,28	53,56
B28	10:14	28/09/2017	60,74	62,98	55,43	56,75
B28	12:14	28/09/2017	59,34	62,53	54,63	56,07
B29	12:16	27/09/2017	56,10	54,20	47,70	48,90
B29	14:16	27/09/2017	57,30	56,35	49,50	50,74
B29	16:16	27/09/2017	59,80	59,85	53,00	54,24
B29	18:16	27/09/2017	57,10	58,10	50,90	52,18
B29	20:16	27/09/2017	62,96	63,96	56,76	58,04
B29	8:16	28/09/2017	57,94	59,58	52,38	53,66
B29	10:16	28/09/2017	61,19	63,43	55,88	57,20
B29	12:16	28/09/2017	59,62	62,81	54,91	56,35
B19	12:18	27/09/2017	56,11	54,21	47,71	48,91
B19	14:18	27/09/2017	57,45	56,50	49,65	50,89
B19	16:18	27/09/2017	60,25	60,30	53,45	54,69
B19	18:18	27/09/2017	57,20	58,20	51,00	52,28
B19	20:18	27/09/2017	63,70	64,70	57,50	58,78
B19	8:18	28/09/2017	58,04	59,68	52,48	53,76
B19	10:18	28/09/2017	61,64	63,88	56,33	57,65
B19	12:18	28/09/2017	59,90	63,09	55,19	56,63
B20	12:20	27/09/2017	56,12	54,22	47,72	48,92
B20	14:20	27/09/2017	57,60	56,65	49,80	51,04
B20	16:20	27/09/2017	60,70	60,75	53,90	55,14
B20	18:20	27/09/2017	57,30	58,30	51,10	52,38
B20	20:20	27/09/2017	64,44	65,44	58,24	59,52
B20	8:20	28/09/2017	58,14	59,78	52,58	53,86
B20	10:20	28/09/2017	62,09	64,33	56,78	58,10
B20	12:20	28/09/2017	60,18	63,37	55,47	56,91
B31	12:22	27/09/2017	56,13	54,23	47,73	48,93
B31	14:22	27/09/2017	57,75	56,80	49,95	51,19

B31	16:22	27/09/2017	61,15	61,20	54,35	55,59
B31	18:22	27/09/2017	57,40	58,40	51,20	52,48
B31	20:22	27/09/2017	65,18	66,18	58,98	60,26
B31	8:22	28/09/2017	58,24	59,88	52,68	53,96
B31	10:22	28/09/2017	62,54	64,78	57,23	58,55
B31	12:22	28/09/2017	60,46	63,65	55,75	57,19

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.91 Resultados porcentaje de humedad en condición media

Resultados % de humedad condición media		
N°Briqueta	% Humedad	% Aditivo
B37	56,47	0
B38	56,62	0
B39	56,74	0
B22	57,02	3
B23	57,30	3
B24	57,58	3
B27	57,86	8
B28	58,14	8
B29	58,42	8
B19	58,70	15
B20	58,98	15
B31	59,26	15

Fuente: Elaboración propia

3.13.3.1. Estabilidad

Tabla 3.92 Resultados estabilidad en condición media

Resultados estabilidad condición media		
N°Briqueta	% Aditivo	Estabilidad Lect. Dial (adi)
B37	0	549
B38	0	542
B39	0	545
B22	3	560
B23	3	561
B24	3	558

B27	8	530
B28	8	532
B29	8	529
B19	15	572
B20	15	568
B31	15	577

Fuente: Elaboración propia

3.13.3.2. Fluencia

Tabla 3.93 Resultados fluencia en condición media

Resultados fluencia condición media		
NºBriqueta	% Aditivo	Fluencia (mm)
B37	0	2,15
B38	0	2,20
B39	0	2,10
B22	3	2,20
B23	3	2,15
B24	3	2,10
B27	8	1,30
B28	8	1,24
B29	8	1,38
B19	15	2,15
B20	15	2,10
B31	15	2,07

Fuente: Elaboración propia

3.13.4. Condición húmeda

En la presente condición se realizó el mismo procedimiento que en el punto 3.12.2.4 obteniendo de ésta manera diferentes porcentajes de humedad los cuales se lecturaron en cuatro direcciones cada dos minutos por briqueta.

Tabla 3.94 Datos porcentaje de humedad en condición húmeda

Datos condición húmeda						
NºBriqueta	Hora	Fecha	% H1(der sup)	% H2(der inf)	% H3(izq sup)	% H4(izq inf)
B9	12:24	27/09/2017	82,10	77,50	79,90	80,40
B9	14:24	27/09/2017	82,20	78,55	80,60	81,14
B9	16:24	27/09/2017	82,30	79,65	81,70	82,24
B9	18:24	27/09/2017	82,40	80,70	82,40	82,98
B9	20:24	27/09/2017	83,14	81,44	83,14	83,72
B9	8:24	28/09/2017	83,24	82,18	83,88	84,46
B9	10:24	28/09/2017	83,69	83,23	84,58	85,20
B9	12:24	28/09/2017	83,79	84,28	85,28	85,94
B10	12:26	27/09/2017	82,11	77,51	79,91	80,41
B10	14:26	27/09/2017	82,35	78,70	80,75	81,29
B10	16:26	27/09/2017	82,75	80,10	82,15	82,69
B10	18:26	27/09/2017	82,50	80,80	82,50	83,08
B10	20:26	27/09/2017	83,88	82,18	83,88	84,46
B10	8:26	28/09/2017	83,34	82,28	83,98	84,56
B10	10:26	28/09/2017	84,14	83,68	85,03	85,65
B10	12:26	28/09/2017	83,94	84,43	85,43	86,09
B21	12:28	27/09/2017	82,12	77,52	79,92	80,42
B21	14:28	27/09/2017	82,50	78,85	80,90	81,44
B21	16:28	27/09/2017	83,20	80,55	82,60	83,14
B21	18:28	27/09/2017	82,60	80,90	82,60	83,18
B21	20:28	27/09/2017	84,62	82,92	84,62	85,20
B21	8:28	28/09/2017	83,44	82,38	84,08	84,66
B21	10:28	28/09/2017	84,59	84,13	85,48	86,10
B21	12:28	28/09/2017	84,04	84,53	85,53	86,27
B4	12:30	27/09/2017	82,14	77,54	79,94	80,44
B4	14:30	27/09/2017	82,65	79,00	81,05	81,59
B4	16:30	27/09/2017	83,65	81,00	83,05	83,59
B4	18:30	27/09/2017	82,70	81,00	82,70	83,28
B4	20:30	27/09/2017	85,36	83,66	85,36	85,94
B4	8:30	28/09/2017	83,54	82,48	84,18	84,76
B4	10:30	28/09/2017	85,04	84,58	85,93	86,55
B4	12:30	28/09/2017	84,32	84,81	85,81	86,55
B5	12:32	27/09/2017	82,15	77,55	79,95	80,45
B5	14:32	27/09/2017	82,80	79,15	81,20	81,74

B5	16:32	27/09/2017	84,10	81,45	83,50	84,04
B5	18:32	27/09/2017	82,80	81,10	82,80	83,38
B5	20:32	27/09/2017	86,10	84,40	86,10	86,68
B5	8:32	28/09/2017	83,64	82,58	84,28	84,86
B5	10:32	28/09/2017	85,49	85,03	86,38	87,00
B5	12:32	28/09/2017	84,60	85,09	86,09	86,83
B36	12:34	27/09/2017	82,16	77,56	79,96	80,46
B36	14:34	27/09/2017	82,95	79,30	81,35	81,89
B36	16:34	27/09/2017	84,55	81,90	83,95	84,49
B36	18:34	27/09/2017	82,90	81,20	82,90	83,48
B36	20:34	27/09/2017	86,84	85,14	86,84	87,42
B36	8:34	28/09/2017	83,74	82,68	84,38	84,96
B36	10:34	28/09/2017	85,94	85,48	86,83	87,45
B36	12:34	28/09/2017	84,88	85,37	86,37	87,11
B16	12:36	27/09/2017	82,17	77,57	79,97	80,47
B16	14:36	27/09/2017	83,10	79,45	81,50	82,04
B16	16:36	27/09/2017	85,00	82,35	84,40	84,94
B16	18:36	27/09/2017	83,00	81,30	83,00	83,58
B16	20:36	27/09/2017	87,58	85,88	87,58	88,16
B16	8:36	28/09/2017	83,84	82,78	84,48	85,06
B16	10:36	28/09/2017	86,39	85,93	87,28	87,90
B16	12:36	28/09/2017	85,16	85,65	86,65	87,39
B17	12:38	27/09/2017	82,18	77,58	79,98	80,48
B17	14:38	27/09/2017	83,25	79,60	81,65	82,19
B17	16:38	27/09/2017	85,45	82,80	84,85	85,39
B17	18:38	27/09/2017	83,10	81,40	83,10	83,68
B17	20:38	27/09/2017	88,32	86,62	88,32	88,90
B17	8:38	28/09/2017	83,94	82,88	84,58	85,16
B17	10:38	28/09/2017	86,84	86,38	87,73	88,35
B17	12:38	28/09/2017	85,44	85,93	86,93	87,67
B18	12:40	27/09/2017	82,20	77,60	80,00	80,50
B18	14:40	27/09/2017	83,40	79,75	81,80	82,34
B18	16:40	27/09/2017	85,90	83,25	85,30	85,84
B18	18:40	27/09/2017	83,20	81,50	83,20	83,78
B18	20:40	27/09/2017	89,06	87,36	89,06	89,64
B18	8:40	28/09/2017	84,04	82,98	84,68	85,26
B18	10:40	28/09/2017	87,29	86,83	88,18	88,80
B18	12:40	28/09/2017	85,72	86,21	87,21	87,95
B14	12:42	27/09/2017	82,21	77,61	80,01	80,51

B14	14:42	27/09/2017	83,55	79,90	81,95	82,49
B14	16:42	27/09/2017	86,35	83,70	85,75	86,29
B14	18:42	27/09/2017	83,30	81,60	83,30	83,88
B14	20:42	27/09/2017	89,80	88,10	89,80	90,38
B14	8:42	28/09/2017	84,14	83,08	84,78	85,36
B14	10:42	28/09/2017	87,74	87,28	88,63	89,25
B14	12:42	28/09/2017	86,00	86,49	87,49	88,23
B15	12:44	27/09/2017	82,22	77,62	80,02	80,52
B15	14:44	27/09/2017	83,70	80,05	82,10	82,64
B15	16:44	27/09/2017	86,80	84,15	86,20	86,74
B15	18:44	27/09/2017	83,40	81,70	83,40	83,98
B15	20:44	27/09/2017	90,54	88,84	90,54	91,12
B15	8:44	28/09/2017	84,24	83,18	84,88	85,46
B15	10:44	28/09/2017	88,19	87,73	89,08	89,70
B15	12:44	28/09/2017	86,28	86,77	87,77	88,51
B26	12:46	27/09/2017	82,23	77,63	80,03	80,53
B26	14:46	27/09/2017	83,85	80,20	82,25	82,79
B26	16:46	27/09/2017	87,25	84,60	86,65	87,19
B26	18:46	27/09/2017	83,50	81,80	83,50	84,08
B26	20:46	27/09/2017	91,28	89,58	91,28	91,86
B26	8:46	28/09/2017	84,34	83,28	84,98	85,56
B26	10:46	28/09/2017	88,64	88,18	89,53	90,15
B26	12:46	28/09/2017	86,56	87,05	88,05	88,79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.95 Resultado porcentaje de humedad en condición húmeda

Resultados % de humedad condición húmeda		
NºBriqueta	% Humedad	% Aditivo
B9	84,82	0
B10	84,97	0
B21	85,09	0
B4	85,37	3
B5	85,65	3
B36	85,93	3
B16	86,21	8
B17	86,49	8
B18	86,77	8

B14	87,05	15
B15	87,33	15
B26	87,61	15

Fuente: Elaboración propia

3.13.4.1. Estabilidad

Tabla 3.96 Resultado estabilidad en condición húmeda

Resultados estabilidad condición húmeda		
NºBriqueta	% Aditivo	Estabilidad Lect. Dial
B4	0	551
B5	0	549
B36	0	545
B9	3	550
B10	3	545
B21	3	550
B14	8	576
B15	8	567
B26	8	570
B16	15	560
B17	15	550
B18	15	555

Fuente: Elaboración propia

3.13.4.2. Fluencia

Tabla 3.97 Resultado fluencia en condición húmeda

Resultados fluencia condición húmeda		
NºBriqueta	% Aditivo	Fluencia (mm)
B4	0	2,35
B5	0	2,41
B36	0	2,35
B9	3	2,35
B10	3	2,31
B21	3	2,42
B14	8	1,49
B15	8	1,44
B26	8	1,5

B16	15	2,4
B17	15	2,48
B18	15	2,5

Fuente: Elaboración propia

3.14. PESO VOLUMÉTRICO

3.14.1. Condición seca inicial

Como la condición inicial *no somete las briquetas a humedad*, no se tiene un peso húmedo, sin embargo se puede realizar el cálculo del peso volumétrico en función de la altura de las briquetas.

Tabla 3.98 Peso volumétrico (Datos iniciales) condición seca inicial

Peso volumétrico datos iniciales c. seca inicial		
NºBriqueta	% Aditivo	Peso húmedo (gr.)
B41	0	-----
B42	0	-----
B43	0	-----
B44	3	-----
B45	3	-----
B46	3	-----
B47	8	-----
B48	8	-----
B49	8	-----
B50	15	-----
B51	15	-----
B52	15	-----

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.99 Datos peso volumétrico condición seca inicial

Datos peso volumétrico c. seca inicial		
% Aditivo	Peso húmedo (gr.)	Altura (cm)
0	-----	6,24
3	-----	6,22
8	-----	6,24
15	-----	6,23

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para el 0 % de aditivo:

$$\text{Peso volumétrico} = 3.1416 * \text{altura} * \text{radio}^2$$

$$\text{Peso volumétrico} = 3.1416 * 6,24 * 5^2$$

$$\text{Peso volumétrico} = 489,9 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

De la misma manera se realiza el cálculo para los diferentes porcentajes de aditivo.

Tabla 3.100 Resultados peso volumétrico condición seca inicial

Resultado peso volumétrico c. seco inicial		
Descripción	Unidad	Valor
R	(cm)	5
Peso volumétrico 0	(gr/cm ³)	480,2
Peso volumétrico 3	(gr/cm ³)	488,8
Peso volumétrico 8	(gr/cm ³)	490,0
Peso volumétrico 15	(gr/cm ³)	489,4

Fuente: Elaboración propia

3.14.2. Condición seca

Tabla 3.101 Peso volumétrico (Datos iniciales) condición seca

Peso volumétrico datos iniciales c. seca		
NºBriqueta	% Aditivo	Peso Húmedo (gr.)
B1	0	1186,30
B2	0	1192,00
B3	0	1191,50
B6	3	1192,40

B7	3	1201,00
B8	3	1192,20
B11	8	1180,50
B12	8	1192,40
B13	8	1189,80
B32	15	1192,80
B33	15	1195,70
B34	15	1195,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.102 Datos peso volumétrico condición seca

Datos peso volumétrico c. seca		
% Aditivo	Peso Húmedo (gr.)	Altura (cm)
0	1189,93	6,17
3	1195,2	6,26
8	1187,57	6,31
15	1194,63	6,27

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para el 0, 3, 8 Y 15 % de aditivo:

Se repite el procedimiento del punto 3.14.1 y de la misma manera se realiza el cálculo para el diferente porcentaje de aditivo.

Tabla 3.103 Resultados peso volumétrico condición seca

Resultado peso volumétrico c. seca		
Descripción	Unidad	Valor
R	(cm)	5
Peso volumétrico 0	(gr/cm ³)	484,6
Peso volumétrico 3	(gr/cm ³)	491,7
Peso volumétrico 8	(gr/cm ³)	495,8
Peso volumétrico 15	(gr/cm ³)	492,6

Fuente: Elaboración propia

3.14.3. Condición media

Tabla 3.104 Peso volumétrico (Datos iniciales) condición media

Peso volumétrico datos iniciales c. media		
NºBriqueta	% Aditivo	Peso húmedo (gr.)
B37	0	1187,55
B38	0	1193,98
B39	0	1193,25
B22	3	1193,5
B23	3	1201,12
B24	3	1192,32
B27	8	1197,92
B28	8	1198,82
B29	8	1194,94
B19	15	1193,31
B20	15	1195,37
B31	15	1193,83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.105 Datos peso volumétrico condición media

Datos peso volumétrico c. media		
% Aditivo	Peso húmedo (gr.)	Altura (cm)
0	1191,59	6,15
3	1195,65	6,23
8	1197,23	6,27
15	1194,17	6,25

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para el 0, 3, 8 Y 15 % de aditivo:

Se repite el procedimiento del punto 3.14.1 y de la misma manera se realiza el cálculo para el diferente porcentaje de aditivo.

Tabla 3.106 Resultados peso volumétrico condición media

Resultado peso volumétrico c. media		
Descripción	Unidad	Valor
R	(cm)	5
Peso volumétrico 0	(gr/cm ³)	482,8
Peso volumétrico 3	(gr/cm ³)	489,2
Peso volumétrico 8	(gr/cm ³)	492,8
Peso volumétrico 15	(gr/cm ³)	490,9

Fuente: Elaboración propia

3.14.4. Condición húmeda

Tabla 3.107 Peso volumétrico (Datos iniciales) condición húmeda

Peso volumétrico datos iniciales c. húmeda		
NºBriqueta	% Aditivo	Peso húmedo (gr.)
B4	0	1193,98
B5	0	1201,24
B36	0	1193,21
B9	3	1187,67
B10	3	1194,1
B21	3	1193,37
B14	8	1193,43
B15	8	1195,72
B26	8	1194,61
B16	15	1198,04
B17	15	1198,94
B18	15	1195,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.108 Datos peso volumétrico condición húmeda

Datos peso volumétrico c. húmeda		
% aditivo	Peso húmedo (gr.)	Altura (cm)
0	1196,14	6,26
3	1192,71	6,17
8	1195,59	6,22
15	1197,35	6,26

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para el 0 % de aditivo: Se repite el procedimiento del punto 3.14.1 y de la misma manera se realiza el cálculo para los diferentes porcentajes de aditivo.

Tabla 3.109 Resultados peso volumétrico condición húmeda

Resultado peso volumétrico c. húmeda		
Descripción	Unidad	Valor
R	(cm)	5
Peso volumétrico 0	(gr/cm ³)	481,7
Peso volumétrico 3	(gr/cm ³)	484,6
Peso volumétrico 8	(gr/cm ³)	488,5
Peso volumétrico 15	(gr/cm ³)	491,4

Fuente: Elaboración propia

3.15. RESULTADOS

3.15.1. Relación y resumen de resultados de las variables

Tabla 3.110 Relación y resumen de resultados condición seca inicial

		Variable dependiente			
		Inmersión seco inicial			
		Peso volumétrico (gr/cm ³)	Estabilidad lectura dial	Fluencia (mm)	Humedad (%)
Variable independiente porcentaje de aditivo	0	480,2	541	2,47	---
	3	488,8	548	2,77	---
	8	490,0	515	2,85	---
	15	489,4	544	2,66	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.111 Relación y resumen de resultados condición seca

		variable dependiente			
		Inmersión seco			
		Peso volumétrico (gr/cm ³)	Estabilidad lectura dial	Fluencia (mm)	Humedad (%)
Variable independiente porcentaje de aditivo	0	484,6	547	2,57	---
	3	491,7	553	2,85	---
	8	495,8	526	2,93	---
	15	492,6	547	2,73	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.112 Relación y resumen de resultados condición media

		Variable dependiente			
		Inmersión media			
		Peso volumétrico (gr/cm ³)	Estabilidad lectura dial	Fluencia (mm)	Humedad (%)
Variable independiente porcentaje de aditivo	0	482,8	545	2,15	56,61
	3	489,2	560	2,15	57,30
	8	492,8	530	1,31	58,14
	15	490,9	572	2,11	58,98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.113 Relación y resumen de resultados condición húmeda

		variable dependiente			
		Inmersión húmeda			
		Peso volumétrico (gr/cm ³)	Estabilidad lectura dial	Fluencia (mm)	Humedad (%)
Variable independiente Porcentaje de Aditivo	0	481,7	548	2,37	85,65
	3	484,6	548	2,36	84,96
	8	488,5	571	1,48	87,33
	15	491,4	555	2,46	86,49

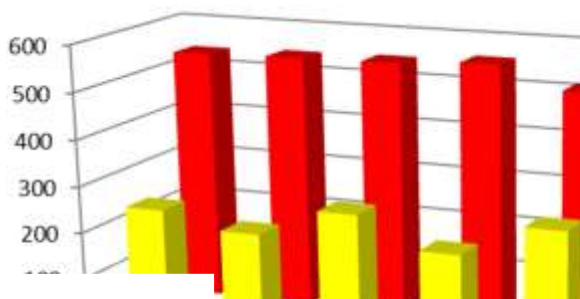
Fuente: Elaboración propia

3.15.2. Estabilidad fluencia pre y post condición seca inicial-media**Tabla 3.114 Datos Estabilidad - fluencia pre y post condición seca inicial-media**

Datos c. seca inicial - c. media		
Condición	Fluencia lectura dial	Estabilidad lectura dial
Aox 0 % Seca inicial	247	541
Aox 0 % Media	215	545
Aox 3 % Seca inicial	277	548
Aox 3 % Media	215	560
Aox 8 % Seca inicial	285	515
Aox 8 % Media	231	530
Aox 15 % Seca inicial	266	544
Aox 15 % Media	211	572

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.53 Gráfica Estabilidad - fluencia pre y post condición seca inicial-media



Fuente: Elaboración propia

3.15.2.1. Análisis de resultados condición seca inicial-media

Se observa en la tabla N° 3.114 una tendencia de incremento en la estabilidad en aproximadamente un 5,3 %, es decir, tanto la muestra control (seca inicial, sin sometimiento a baño maría), como las muestras tratadas con 0%, 3%, 8% y 15% de aditivo y sometidas a una humedad inducida del 50%, muestran un incremento en la estabilidad post acondicionamiento.

La muestra con un 0% de aditivo sin embargo presenta un comportamiento distinto, puesto que ve aminorada su estabilidad en aproximadamente un 0,8 %.

Las briquetas en condiciones naturales (seco inicial) u modificadas con el aditivo enológico, tienden a incrementar su estabilidad.

Sin embargo en la fluencia, existe un decremento en todas las muestras sometidas a una condición de humedad media, sin embargo es de notar que la fluencia tiende a reducir a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo de 0% hasta 15 %, sin embargo en la briqueta modificada con el 15% disminuye con un rango menor que de las demás muestras de control pudiese deberse entonces a un reflejo en el

comportamiento de la mezcla, causado por el efecto de relajación que produce la adición del 15 % de aditivo.

Esto quiere decir que las briquetas en condiciones naturales (seco inicial) y modificadas con el aditivo enológico, tienden a incrementar su fluencia sin embargo causado por el efecto de relajación que produce la adición del 15% de aditivo, logra una disminución en la fluencia de ésta muestra, descartando la influencia del acondicionamiento post humedad media, como un factor menester en la fluencia.

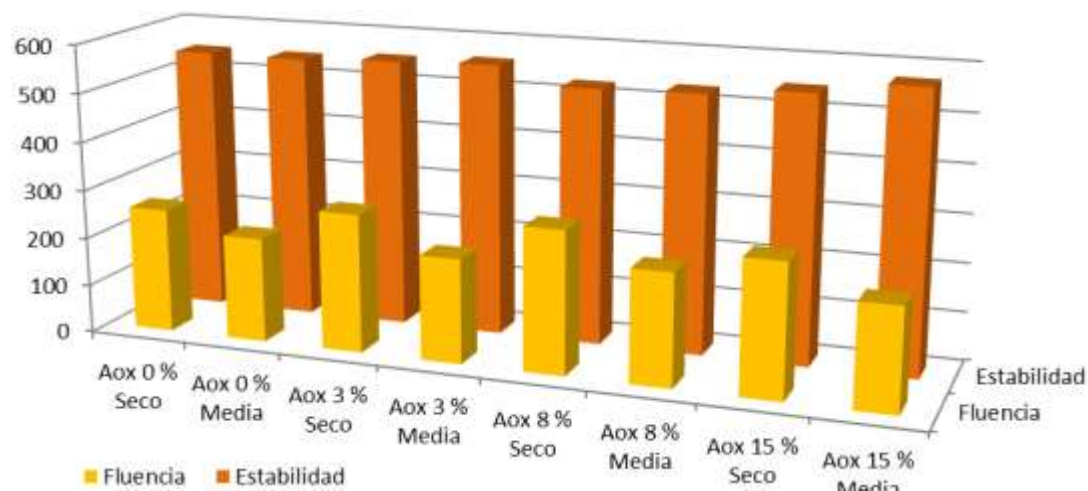
3.15.3. Estabilidad fluencia pre y post condición seca –media

Tabla 3.115 Datos Estabilidad - fluencia pre y post condición seca-media

Datos c. seco - c. media		
Condición	Fluencia lectura dial	Estabilidad lectura dial
Aox 0 % SECO	257	547
Aox 0 % Media	215	545
Aox 3 % Seco	285	553
Aox 3 % Media	215	560
Aox 8 % Seco	293	526
Aox 8 % Media	131	530
Aox 15 % Seco	273	547
Aox 15 % Media	211	572

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.54 Gráfica Estabilidad - fluencia pre y post condición seca-media



Fuente: Elaboración propia

3.15.3.1. Análisis de resultados

Observando la estabilidad en la tabla N° 3.115 observamos una tendencia de incremento en aproximadamente un 4,7 %, es decir, tanto la muestra control (seca según ensayo Marshall), como las muestras tratadas con 3%, 8% y 15% de aditivo y sometidas a una humedad inducida del 50%, muestran un incremento en la estabilidad post acondicionamiento. Al obtener la briqueta con un 0% de aditivo, presenta un comportamiento distinto, puesto que ve aminorada su estabilidad en aproximadamente un 0,2 %.

Por lo tanto las briquetas en condiciones normales (seco) y sin modificar con el aditivo enológico, tienden a disminuir su estabilidad, sin embargo el efecto de la humedad en contacto con el aditivo logra un incremento en la estabilidad de las muestras con un 3 %, 8 % y un 15 % de aditivo.

En la fluencia se observa lo contrario, puesto que ésta reduce sus valores en todas las muestras sometidas a una condición de humedad media, sin embargo es de notar que la fluencia tiende a reducir a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo de 0% hasta 15 %, sin embargo en la briqueta modificada con el 15% disminuye con un rango menor que de las demás muestras de control, lo cual pudiese deberse entonces a un reflejo en el comportamiento de la mezcla, causado por el efecto de relajación que produce la adición del 20% de antioxidante en el ligante el cual estaría cerca del valor que empleamos del 15 % de aditivo.

Esto quiere decir que las briquetas en condiciones normales (seco) y modificadas con el aditivo enológico, tienden a incrementar su fluencia sin embargo causado por el efecto de relajación que produce la adición del 15% de aditivo, logra una disminución en la fluencia de ésta muestra, descartando la influencia del acondicionamiento post condición media, como un factor menester en la fluencia.

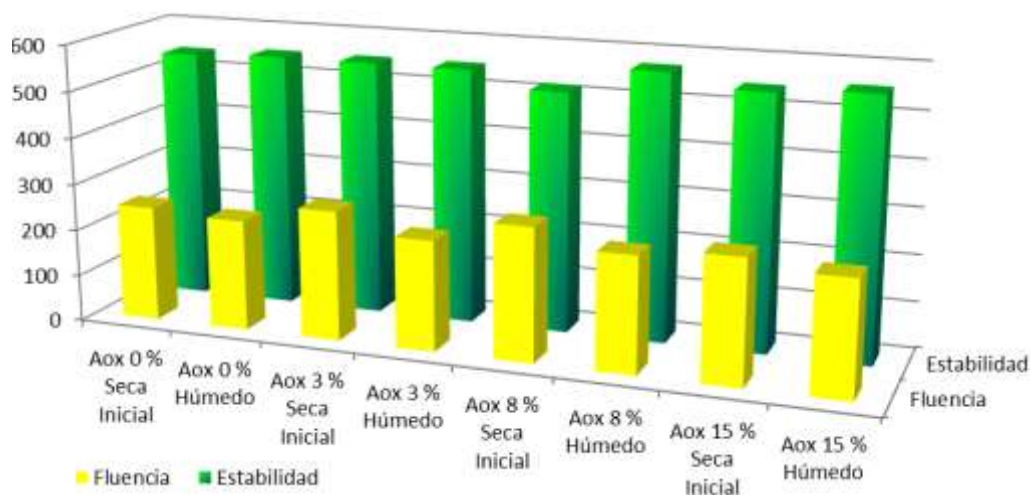
3.15.4. Estabilidad fluencia pre y post condición seca inicial-húmeda

Tabla 3.116 Datos Estabilidad-fluencia pre y post condición seca inicial-húmeda

Datos c. seca inicial - c. húmeda		
Condición	Fluencia lectura dial	Estabilidad lectura dial
Aox 0 % Seca inicial	247	541
Aox 0 % Húmeda	237	548
Aox 3 % Seca inicial	277	548
Aox 3 % Húmeda	236	548
Aox 8 % Seca inicial	285	515
Aox 8 % Húmeda	248	571
Aox 15 % Seca inicial	266	544
Aox 15 % Húmeda	246	555

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.55 Gráfica Estabilidad - fluencia pre y post condición seca inicial-húmeda



Fuente: Elaboración propia

3.15.4.1. Análisis de resultados

Reiteradamente, podemos inferir que para adiciones de un 0%, 3%, 8% y 15% de aditivo, la evolución de la fluencia de la mezcla post condición húmeda (al 80% de humedad), disminuye un 9,8 %.

Sin embargo, en el caso de las muestras tratadas con aditivo al 0%, 3%, 8% y 15%, podemos observar que la estabilidad, se incrementa en un 3,6 % en condición inicial post condición húmeda, lo que indicaría una mayor resistencia al agrietamiento.

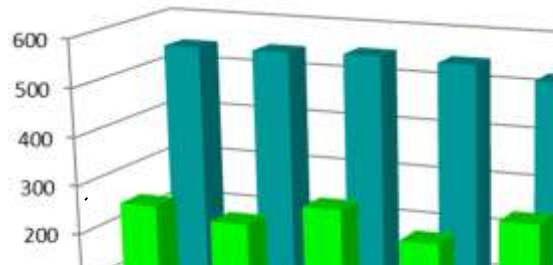
3.15.5. Estabilidad fluencia pre y post condición seca-húmeda

Tabla 3.117 Datos Estabilidad - fluencia pre y post condición seca-húmeda

Datos c. seco - c. húmeda		
Condición	Fluencia lectura dial	Estabilidad lectura dial
Aox 0 % Seco	257	547
Aox 0 % Húmedo	237	548
Aox 3 % Seco	285	553
Aox 3 % Húmedo	236	548
Aox 8 % Seco	293	526
Aox 8 % Húmedo	148	571
Aox 15 % Seco	273	547
Aox 15 % Húmedo	246	555

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.56 Gráfica Estabilidad - fluencia pre y post condición seca- húmeda



Fuente: Elaboración propia

3.15.5.1. Análisis de resultados condición seca- húmeda

Las muestras tratadas con aditivo al 0%, 3 %, 8% y 15%, incrementan su estabilidad, en condición inicial post condición húmeda con un 2,8 % lo cual indicaría un incremento de resistencia al agrietamiento.

Nuevamente, podemos inferir que para adiciones de un 0%, 3%, 8% y 15% de aditivo, la fluencia de la muestra post condición húmeda (al 80% de humedad), de igual manera disminuye. Sin embargo, al analizar la capacidad de variación de la fluencia en la muestra post condición húmeda, se observa que las muestras tratadas con 0%, 3 %, 8% y 15%, conservan una capacidad de decremento respecto de las muestras de control post condición húmeda de un 12,6 en post condición húmeda al 80 % de agua.

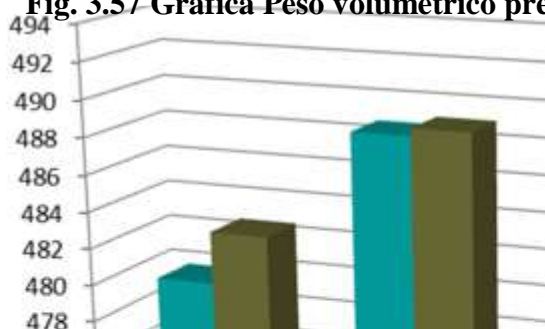
3.15.6. Peso volumétrico pre y post condición seca-media inicial

Tabla 3.118 Datos peso volumétrico pre y post condición seca inicial-media

Datos c. seco inicial - c. media		
Aditivo	Peso volumétrico media (gr/cm ³)	Peso volumétrico seco inicial (gr/cm ³)
Aox 0 %	483	480
Aox 3 %	489	489
Aox 8 %	493	490
Aox 15 %	491	489

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.57 Gráfica Peso volumétrico pre y post condición seca inicial-media



Fuente: Elaboración propia

3.15.6.1. Análisis de resultados

La muestra control (muestra seca inicial) logra un peso volumétrico promedio de 487,1 gr/cm³ siendo menor en comparación con la muestra promedio sometida a post condición media de 488,9 gr/cm³, es decir el peso volumétrico promedio de la muestra seca inicial (sin sometimiento a baño maría) disminuye en un 0.4 % aproximadamente con el acondicionamiento post condición media en promedio.

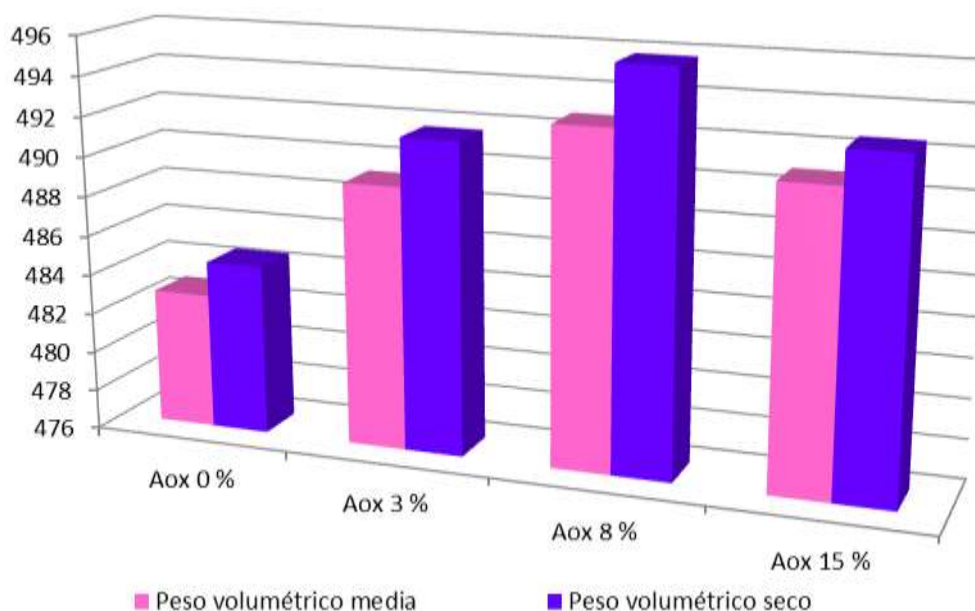
3.15.7. Peso volumétrico pre y post condición seca-media

Tabla 3.119 Datos peso volumétrico pre y post condición seca-media

Datos c. seco - c. media		
ADITIVO	Peso volumétrico media (gr/cm ³)	Peso volumétrico seco (gr/cm ³)
Aox 0 %	483	485
Aox 3 %	489	492
Aox 8 %	493	496
Aox 15 %	491	493

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.58 Gráfica Peso volumétrico pre y post condición seca-media



Fuente: Elaboración propia

3.15.7.1. Análisis de resultados condición seca-media

La muestra control (muestra seca, según ensayo Marshall) con peso volumétrico promedio 491,2 gr/cm³ es mayor en comparación con la muestra promedio sometida a post condición media 488,9 gr/cm³, es decir el peso volumétrico promedio tiende a decrecer en un 0.5 % aproximadamente con el acondicionamiento post condición media.

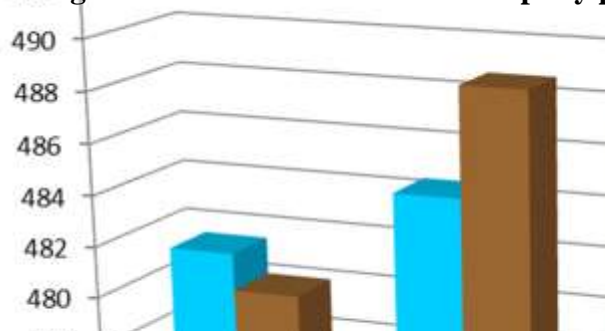
3.15.8. Peso volumétrico pre y post condición seca inicial-húmeda

Tabla 3.120 Datos peso volumétrico pre y post condición seca inicial-húmeda

Datos c. seco inicial- c. húmedo		
Aditivo	Peso volumétrico húmeda (gr/cm ³)	Peso volumétrico seco inicial (gr/cm ³)
Aox 0 %	482	480
Aox 3 %	485	489
Aox 8 %	489	490
Aox 15 %	491	489

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.59 Gráfica Peso volumétrico pre y post condición seca inicial-húmeda



Fuente: Elaboración propia

3.15.8.1. Análisis de resultados

La muestra control (muestra seca inicial, sin sometimiento a baño maría) logra un peso volumétrico promedio de 487,1 gr/cm³ mayor en comparación con la muestra promedio sometida a post condición húmeda 486,5 gr/cm³, es decir el peso

volumétrico promedio demuestra aumentar en un 0,1 % aproximadamente con el acondicionamiento post condición húmeda.

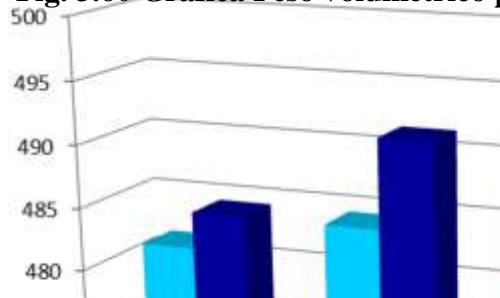
3.15.9. Peso volumétrico pre y post condición seca-húmeda

Tabla 3.121 Datos peso volumétrico pre y post condición seca-húmeda

Datos c. seco - c. húmedo		
Aditivo	Peso volumétrico húmeda (gr/cm ³)	Peso volumétrico seco (gr/cm ³)
Aox 0 %	482	485
Aox 3 %	485	492
Aox 8 %	489	496
Aox 15 %	491	493

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.60 Gráfica Peso volumétrico pre y post condición seca-húmeda



Fuente: Elaboración propia

3.15.9.1. Análisis de resultados

La muestra control (muestra seca, según ensayo Marshall) logra un peso volumétrico promedio de 491,2 gr/cm³ mayor en comparación con la muestra sometida a post condición húmeda promedio de 486,5 gr/cm³, es decir el peso volumétrico demuestra

aminoración en un 0.9 % aproximadamente con el acondicionamiento post condición húmeda.

3.16. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.

Dentro de la presente investigación se plantea la hipótesis:

Si evaluamos los efectos que va a tener la humedad en las mezcla asfáltica modificados con residuo enológico, a través de distintas condiciones de humedad, entonces podemos observar un incremento en la estabilidad y un decremento en la fluencia en los resultados de la muestra elaborada con mezcla asfáltica modificada con aditivo de residuo enológico, siendo necesario evaluar los resultados que se obtengan en busca de emplear nuevos criterios hallados.

Al terminar los análisis de resultados se puede verificar que la hipótesis tiene cierta validez ya que al someter a post condición media y húmeda respecto de la condición seca inicial (sin sometimiento a baño maría) y seca (según ensayo Marshall), adquieren mejoras en cuanto a la resistencia a la susceptibilidad a la humedad la cual puede observarse en los resultados presentados en la estabilidad y fluencia, según la condición de humedad empleada en los diferentes ensayos realizados.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El trabajo de investigación realizado, demuestra que la adición del aditivo utilizando el 0%, 3%, 8% y 15 %, aumenta la rigidez, es decir su estabilidad después del *acondicionamiento medio* respecto a las muestras a condición seca inicial (sin sometimiento a baño María), incrementando su estabilidad en un 5,3 % y respecto de la condición seca (según Marshall), incrementa su estabilidad en un 4,7 %. La fluencia presente se ve disminuida respecto a las muestras a condición seca inicial (sin sometimiento a baño María), en un 18,7 %, y respecto de la condición seca (según Marshall), un decremento de fluencia del 21,7 %, lo que marca el inicio del proceso de fallo en el pavimento. Por lo tanto, queda de manifiesto que se reducirá la durabilidad del pavimento, debido al aumento del potencial de daño a futuro por agrietamiento y/o condición media.

✦ El trabajo de investigación realizado, demuestra que la adición del aditivo utilizando el 0%, 3%, 8% y 15 %, de igual manera que en el punto anterior, éste generó aumento de rigidez, es decir su estabilidad después del *acondicionamiento húmedo* respecto a las muestras a condición seca inicial (sin sometimiento a baño María), incrementando su estabilidad en un 3,6 % y respecto de la condición seca (según Marshall), incrementa su estabilidad en un 2,8 %. La fluencia presente se ve disminuida respecto a las muestras a condición seca inicial (sin sometimiento a baño María), en un 9,8 %, y respecto de la condición seca (según Marshall), un decremento de fluencia del 12,6 %, lo que marca el inicio del proceso de fallo en el pavimento. Por lo tanto, queda de manifiesto que se reducirá la durabilidad del pavimento, debido al aumento del potencial de daño a futuro por agrietamiento a condición media. Una observación importante que se obtuvo durante este estudio es que el uso del cementos asfáltico modificado evaluado está relacionado con un amplio rango de resistencias al daño por humedad. Esto significa que aunque algunos procesos de modificación mejoran la resistencia de las mezclas asfálticas al daño por humedad, éste no es siempre el caso.

En esta investigación se utilizó el método para determinar la susceptibilidad al daño por humedad en las mezclas asfálticas, el cual en el momento del ensayo no se encontraba reglamentado, pero con este proyecto de investigación, se puede indicar que al realizar el ensayo y mantener las muestras inmersas en condiciones media (condición de campo) con un 50 % de humedad y condición húmeda la cual sería una condición más radical con un 80 % de humedad, indican un deterioro y un cambio de las propiedades de la muestra, debido a la acción de la humedad. Sin embargo este comportamiento de incremento de estabilidad en muestras seca inicial a condición media tiene un porcentaje de incremento de 5,3 %, respecto de la muestra seca con un % de incremento del 4,7 %, *observamos mayor incremento de rigidización en muestras seca iniciales*, lo cual no mejora el desempeño de la muestra, por el contrario genera un comportamiento frágil ante cargas externas. Ocurre lo mismo al realizar la comparación respecto a la estabilidad seca inicial a condición húmeda, con un porcentaje de incremento del 3,6 % respecto a la estabilidad seca a condición húmeda de 2,8 %.

La fluencia seca inicial a condición media sufre un porcentaje de decremento del 18,7 %, respecto a la fluencia de la muestra seca a condición media con un 21,2 % de decremento, *observamos mayor decremento en la fluencia de la muestra seca a condición media*. De la misma manera el porcentaje de decremento de la fluencia en muestra seca inicial a condición húmeda es de 9,8 %, respecto a la fluencia muestra seca con un 1,6 % de decremento, *mostrando mayor porcentaje de decremento en las muestras de condición seca inicial a condición húmeda*.

La investigación realizada demuestra que la metodología aplicada para evaluar la susceptibilidad al daño por humedad de combinaciones cemento asfáltico modificado es útil como criterio a integrar para la producción de mezclas asfálticas modificadas, sin embargo se esperaba una resistencia ante el daño ocasionado por la humedad en condición media y húmeda, sin embargo se observó que no se obtuvo mejoras sino al contrario las muestras aumentaron su estabilidad según el incremento de humedad y sufrieron un decremento en la fluencia.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio enfocado netamente a las propiedades químicas del cemento asfáltico modificado con residuo enológico a diferentes porcentajes de aditivo para determinar sus propiedades a mayor detalle, obteniendo de esta manera el porcentaje óptimo de aditivo de residuo enológico y evidenciar que comportamiento o cambio químico se obtiene al realizar la modificación.

Se deben desarrollar otras investigaciones que permitan entender con mayor claridad los resultados reportados en este estudio, por lo que es necesario evaluar en un futuro el cambio en las propiedades químicas, reológicas y de resistencia mecánica de muestras realizadas con mezclas asfálticas modificadas, analizadas cuando son sumergidas a cierta humedad y modificadas con el aditivo empleado en el presente trabajo. De conformidad a lo mencionado anteriormente, se hace necesario continuar con investigaciones que sirvan de soporte para encontrar ensayos y/o métodos que permitan integrar la mayor cantidad de factores de humedad que afectan la mezcla asfáltica, después de un periodo de servicio.

El análisis realizado demuestra que la metodología aplicada para evaluar la susceptibilidad al daño por humedad de combinaciones cemento asfáltico- agregado es útil como criterio a integrar para la producción de mezclas asfálticas de alta calidad. Dadas las ventajas de la metodología expuesta, es recomendable adelantar estudios adicionales para establecer una base de datos de cementos asfálticos y agregados empleados en la fabricación de mezclas asfálticas modificadas con diversos materiales en Bolivia, adicionalmente es necesario evaluar la variabilidad de estos materiales con el objeto de integrar este parámetro en el análisis de susceptibilidad al daño por humedad.