

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas son materiales compuestos por áridos, filler y ligantes asfálticos, mezclados en distintas proporciones. Este material ha sido considerado por mucho tiempo como uno de los materiales más importantes utilizados en las capas superiores de los pavimentos flexibles. Esto se debe principalmente a las propiedades funcionales y estructurales que posee este material, que permite por una parte, obtener un buen nivel de confort y seguridad en la conducción a los usuarios, mientras que por otra, puede resistir las sollicitaciones del tráfico y del medio ambiente, obteniéndose un buen nivel de durabilidad acorde al periodo de diseño considerado para la estructura de pavimento.

Se entiende por durabilidad de una mezcla asfáltica la propiedad relacionada con la capacidad del material o de sus materiales constituyentes para resistir los agentes medioambientales, tales como el efecto del agua, el envejecimiento y las variaciones térmicas; simultáneamente a las cargas originadas por el tráfico, sin presentar deterioros significativos en un periodo de tiempo considerado.

Aunque existen diferentes tipos de pavimentos flexibles con distintas propiedades que sirven a diversos propósitos basados principalmente en el nivel de tráfico, clima, características del suelo de fundación, entre otros, todas las mezclas asfálticas utilizadas en estas estructuras deben tratar de maximizar las siguientes cualidades: la resistencia a la deformación, a la fisuración, al daño por humedad y ser durables en el tiempo. Sin embargo, independiente de la eficiencia con las cuales son diseñadas y construidas las mezclas asfálticas, éstas van a estar sometidas al efecto combinado de sollicitaciones medioambientales y altas cargas de tráfico que tenderán a producirles un daño acumulado, con un grado de severidad creciente en el tiempo.

El agua o humedad son los agentes climáticos más destructivos en los pavimentos asfálticos, provocando deterioros o daños por humedad, donde su manifestación más común es el “stripping” que consiste en la separación de la matriz árido-ligante generado por la pérdida de adhesión y cohesión a causa del ingreso de agua o vapor de agua. A

modo de contrarrestar este tipo de daño, el presente estudio analiza el comportamiento de distintas mezclas asfálticas fabricadas con 3 tipos de áridos y 2 tipos de ligantes asfálticos.

Existen distintos factores que inciden en la unión árido-ligante, como la interacción química que se produce en la interfaz entre ambos componentes, el contenido de ligante y espesor del recubrimiento, efectos del envejecimiento del ligante asfáltico y los efectos del agua. Al vincularse estos últimos dos factores, se acelera en gran medida el daño por humedad en las mezclas asfálticas, siendo la principal característica de este fenómeno la rigidización del ligante, contribuyendo al deterioro del pavimento por el endurecimiento y fragilidad de la película de ligante, incrementando el potencial de agrietamiento que permite el ingreso del agua al interior del pavimento y por ende, causando problemas de adherencia o desprendimiento en la matriz árido-ligante.

1.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

1.2.1 Revisión bibliográfica

Considerando que el concreto asfáltico es el más apropiado para vías de tránsito intenso, se hará especial énfasis a este tipo de mezcla. Un pavimento de concreto asfáltico debe cumplir los siguientes objetivos principales:

- a)** Suficiente estabilidad en la mezcla como para satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos.
- b)** Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable, que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada.
- c)** Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla con que se procederá a la pavimentación.
- d)** Suficientes vacíos en la mezcla compactada, para proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional bajo las cargas del tránsito, afloramientos de asfalto y pérdidas de estabilidad.

Las proporciones de agregados y asfalto en la mezcla, deben seleccionarse de manera que ésta cumpla, tanto los requisitos de gradación dados por las especificaciones, como

los de calidad de la mezcla exigidos por los procedimientos corrientes del diseño. Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada. Generalmente no es posible fijar la fórmula de trabajo hasta que haya comenzado la producción, por cuanto los materiales que pasan por la planta no son idénticos a las mezclas utilizadas en el laboratorio. La manufactura de las mezclas se hace en plantas especiales a altas temperaturas y con sistemas de control muy precisos que permiten asegurar la correcta dosificación de los materiales.

Su colocación en obra se hace por medio de máquinas terminadoras, construidas para tal efecto y la compactación posterior debe ser suficiente para alcanzar las densidades y estabilidades exigidas.

Influencia del asfalto (ligante) y agregados minerales en un concreto asfáltico.

La influencia relativa del asfalto y del agregado mineral, en las características del concreto asfáltico. El objetivo principal es demostrar que la calidad del revestimiento asfáltico depende de un gran número de factores relacionados entre sí, por lo cual no se puede evaluar considerando separadamente las propiedades del asfalto, y las del agregado. Para determinar la calidad del pavimento, es necesario estudiar la mezcla misma compactada, por las razones que se dan a continuación:

Primero – con respecto al asfalto.

Es un pavimento asfáltico del tipo de mezcla en caliente, el asfalto está en forma de películas muy delgadas que se han obtenido mediante la aplicación de calor.

Por consiguiente, las propiedades del asfalto en película delgada podrían ser diferentes de aquellas del producto a granel, y además podrían alterarse con la aplicación del calor. También debe tenerse en cuenta que el asfalto es sólo uno de los componentes del pavimento. Él cumplirá apropiadamente sus funciones solamente si se emplea en la cantidad correcta, con un agregado mineral adecuado, y bajo condiciones apropiadas.

Segundo – respecto al agregado mineral.

Una vez que el agregado mineral ha sido cubierto con asfalto, adquiere características diferentes. Por ejemplo, la facilidad con la cual puede compactarse es enteramente diferente. La tendencia a repeler el agua depende del espesor de la película asfáltica. En consecuencia, hay solamente una forma segura de diseñar un pavimento asfáltico y ésta es la de preparar las mezclas asfálticas en el laboratorio y verificar que las mezclas tengan las características físicas requeridas para garantizar el comportamiento del pavimento. Para hacer esto, deben definirse muy claramente cuáles son las características requeridas de una buena mezcla asfáltica. Y considerando que el concreto asfáltico es el tipo más comúnmente usado se limitará la discusión a este tipo de pavimento.

Estabilidad

Puede definirse como la resistencia al desplazamiento. No hay una prueba aceptada universalmente para determinar la resistencia de una mezcla para pavimentos, y todas las que se usan son más o menos empíricas. Ciertas pruebas de estabilidad manifiestan más la influencia del aglutinante asfáltico que la del agregado mineral o viceversa, como puede apreciarse en las pruebas Marshall y Hveem. Debe observarse que las pruebas de estabilidad deben suplementarse con otras. En la prueba Marshall, la deformación de la briqueta de ensayo se considera también para estimar la resistencia, y en la prueba Hveem los resultados del cohesiómetro suplementan los valores de estabilidad. El motivo de que en ambas pruebas, Marshall y Hveem, se haya hecho una tentativa para presentar la influencia relativa del asfalto y del agregado, es una indicación de tal necesidad.

Efecto del asfalto en la estabilidad

Cantidad de asfalto

Dependiendo de su cantidad en la mezcla, el asfalto puede actuar como un ligante o como un lubricante. Por lo tanto, la estabilidad de una mezcla aumenta con un incremento en el porcentaje de asfalto hasta que se alcanza un máximo, después del cual disminuye. Si un agregado se ensaya con varios porcentajes de asfalto por medio de diferentes pruebas de estabilidad, la estabilidad máxima no siempre ocurrirá exactamente en el mismo porcentaje de asfalto, ni la forma de las curvas será la misma

ya que algunas pueden ser menos pronunciadas que otras. La explicación está en el método de compactación, la rata de carga, y las dimensiones relativas de las briquetas. Considerando que todas estas pruebas son empíricas, sus interpretaciones tienen que basarse en la correlación con su comportamiento en el terreno. Es evidente que hay necesidad de una prueba que determine la estabilidad de una mezcla en términos de la carga por unidad de área en ratas prácticas de carga, pero independiente de la densidad original de las briquetas.

Características del asfalto

Las características del asfalto, especialmente su consistencia, afectan los resultados de las pruebas de estabilidad. La viscosidad del asfalto entra en juego cuando la rata de carga es muy rápida. En la prueba Marshall, el grado del asfalto, tiene un gran efecto en la estabilidad pero muy poco en el índice de flujo. En este caso particular, la estabilidad es casi el doble cuando un asfalto de penetración 85/100 sustituye el asfalto de penetración 150/200. Sin embargo, con asfaltos de fuentes diferentes o producidos por distintos métodos de refinación, las diferencias entre el mismo grado de asfalto no son apreciables.

Efecto del agregado mineral en la estabilidad

Tamaño máximo de los agregados

En general, a medida que el tamaño del agregado aumenta, la estabilidad aumenta. Por razones de trabajabilidad y apariencia superficial, el tamaño máximo es generalmente limitado a $\frac{3}{4}$ pulgada, para concreto asfáltico. Cuando el tamaño máximo del agregado grueso se aumenta, generalmente su cantidad también aumenta, afectando la estabilidad en la misma tendencia. Cuando el porcentaje de agregado grueso es menor de 25 %, el tamaño máximo tiene poca influencia en la estabilidad.

Efecto de la densidad de la mezcla en la estabilidad

La densidad de una mezcla afecta la mayoría de las pruebas de estabilidad de que disponemos, pero la estabilidad máxima no ocurre siempre a la densidad máxima determinada antes de la prueba. Un estado más denso puede ocurrir durante la aplicación de la carga, o el porcentaje de asfalto que produce densidad máxima puede

tener un gran efecto lubricante. Además, la temperatura en la cual se determinan la densidad y la estabilidad no es generalmente la misma.

Durabilidad

La durabilidad comprende todas las características que conducen a la larga vida. Ellas son: resistencia del asfalto a endurecerse durante la operación de mezcla, resistencia al efecto abrasivo del tránsito, resistencia del pavimento a la acción destructiva del aire, agua y a los cambios de temperatura. El término también implica flexibilidad suficiente para resistir roturas bajo las aplicaciones de carga y sus repeticiones.

Efecto del asfalto en la durabilidad

El asfalto ejerce quizás, más influencias en la durabilidad que en cualquier otra característica del pavimento. El asfalto no es solamente el agente ligante, sino también el impermeabilizador y cumplirá sus funciones durante el tiempo que tenga y conserve sus correctas propiedades. Cuando un asfalto se calienta para cubrir con una delgada película el agregado mineral, ocurre oxidación y el asfalto se endurece. El endurecimiento total se mide generalmente por la pérdida en penetración.

Agregados

Características físicas deseables en los agregados para mezclas asfálticas.

Tamaño y estructura granulométrica

Resistencia y durabilidad.

Forma cúbica.

Baja porosidad.

Textura superficial adecuada.

Buena adherencia.

Limpieza.

Gravedad específica

Economía

La estructura granulométrica o simplemente granulometría se define como la distribución de tamaños del agregado que se empleará para formar una mezcla asfáltica. Es la característica más importante de los agregados ya que afecta la estabilidad y la trabajabilidad de las mezclas, y constituye, por lo tanto, uno de los requisitos básicos de las especificaciones.

Resistencia

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos impuestos por el manipuleo durante su paso a través de la planta de asfalto que producen choques entre granos y de granos con componentes metálicos de la planta, y procesos de compactación en las etapas de construcción, ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el período de acción bajo el tráfico.

Estos efectos y esfuerzos tienden a triturar y degradar las partículas, y la habilidad de un material para mantener su granulometría original ante ellos, se define como su resistencia.

Durabilidad

Los agregados deben ser resistentes a la disgregabilidad es decir, a la acción química que produce la rotura y degradación de las partículas, lo cual normalmente se produce y acelera, en la eventual presencia de aguas básicas o sulfatadas.

Forma de las partículas

La estabilidad de las mezclas depende, en un grado muy alto, de la trabazón de los agregados. Las mayores estabilidades se alcanzan cuando las partículas tienen forma cúbica u octaédrica es decir, angular debido a que oponen mayor resistencia a su desplazamiento ante el efecto de una carga.

Angularidad de la fracción gruesa

Figura 1.1: Angularidad de la fracción gruesa



Fuente: Propiedades de ingeniería de los agregados para mezclas en caliente, INVEAS

Angularidad de la fracción fina

En las mezclas con granulometrías continuas, con agregados gruesos y finos, la angularidad de las partículas finas es más importante que la de los gruesos, debido al mayor número de puntos de contacto que logran la trabazón.

Textura superficial

Se considera que la textura superficial (rugosidad) de los agregados es el principal contribuyente en la resistencia de las mezclas asfálticas a su deformación, llamada estabilidad, debido a la fricción que se desarrolla entre las diversas partículas como consecuencia del grado de textura que presentan los granos.

La textura es más importante que la angularidad del agregado en la estabilidad de una mezcla, lo cual se atribuye a que entre las partículas, más que puntos de contacto existen zonas de contacto y por ello, mientras más rugosa es su superficie más difícil es el desplazamiento de una sobre otra. Adicionalmente, una superficie pulida presenta poca habilidad para mantener la película de asfalto adherida al agregado.

Porosidad

La porosidad, en mezclas asfálticas, se define como la propiedad de absorción de asfalto que tienen los agregados.

Es conveniente que estos agregados sean algo porosos, para que el asfalto penetre dentro de él y se adhiera mecánicamente a cada partícula, lo cual ayuda a evitar el desplazamiento de la película de asfalto que se forma entre las diversas partículas de agregado ante el efecto de las cargas, y a la pérdida de ella ante la presencia y efecto del agua.

Se considera ideal un agregado que presente una absorción de agua entre un 0,5 % y un 1,0 %, cuando se realicen sobre él los ensayos de absorción normalizados como AASHTO T-84 y AASHTO T-85, tanto para los agregados gruesos como los finos.

Adherencia

La adherencia es la propiedad de un agregado para mantener sobre él la película de asfalto añadida.

Depende no sólo del agregado, de su textura y composición química, sino en parte muy importante, del asfalto en sí. Para que una mezcla sea durable, debe existir una buena adherencia entre el agregado y el asfalto, para que se evite la separación de la película de asfalto en presencia de agua.

Los ensayos de adherencia se realizan directamente sobre los agregados cubiertos por asfalto, ensayo AASHTO T-182 o sobre las propiedades de las mezclas ya elaboradas.

Limpieza

Los agregados gruesos que en mezclas asfálticas se definen como los retenidos en el tamiz N° 8 deben estar limpios, sin partículas de polvo o arcillas que los recubran, ya que esto afecta negativamente la efectiva adherencia del asfalto.

El agregado fino definido en las mezclas asfálticas como la fracción pasa el tamiz N° 8 y retenida en el tamiz N° 200 y la fracción pasa el tamiz N° 200, no deben contener cantidades perjudiciales de arcillas, o de tamaños excesivamente pequeños.

Tabla 1.1: Valores mínimos para el equivalente de arena

Características de la fracción	Tipo de tránsito		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Fina y método de ensayo			
Equivalente de arena ASTM D2419	> 45 %	> 40 %	> 35 %

Fuente: Propiedades de ingeniería de los agregados para mezclas en caliente, INVEAS

En el caso de que no se satisfagan los valores mínimos señalados para el equivalente de Arena, en condiciones de tránsito alto y medio, se ejecutará el ensayo de resistencia retenida, de acuerdo a lo establecido en el método ASTM D- 4867(92). Si la relación entre la resistencia condicionada y la resistencia normal es mayor al 60 %, se podrá emplear el material en evaluación. Sin embargo el valor de arena equivalente, en ningún caso podrá ser menor al 35 %.

1.2.2 Justificación

El presente trabajo se lo efectuará, con finalidad de evaluar el efecto que tienen los áridos y ligantes de distinto origen, dentro de las mezclas asfálticas, para observar el daño por humedad.

Esto nos permitirá tomar en cuenta el estudio realizado, para las próximas obras viales a ejecutarse, reduciendo así los daños o fallas posteriores en los pavimentos.

Se utilizará en las mezclas asfálticas flexibles aplicadas en nuestro medio, con diferentes tipos de áridos y diferentes ligantes asfálticos.

Las causas que provocan estos daños en los pavimentos, son el agua o la humedad, que intervienen en la matriz árido-ligante, generando pérdida de adhesión y cohesión a causa del ingreso de agua o vapor de agua.

También habrá que tomar en cuenta las texturas y formas de los áridos, ya que esto tiene una gran importancia en el comportamiento de las mezclas asfálticas.

1.3 DISEÑO TEÓRICO

1.3.1 Planteamiento del problema

1.3.1.1 Situación problemática

Consecutivamente el nivel de servicio y periodo de diseño de una carretera no es el esperado, puesto que éste se verá afectado por un elemento agresivo, el cual es la humedad.

El problema de la humedad en los pavimentos, causa muchos daños y deterioros externa e internamente, que se ven reflejados en la superficie de rodadura, afectando así la estabilidad y durabilidad de una carretera puesta en marcha.

La humedad de los áridos en los pavimentos trae como consecuencia una disminución de la capacidad del ligante de soportar cargas, pudiéndose observar cuando la humedad de los áridos afecta a las capas de la estructura de la carretera, provocando así un hundimiento debido al paso de los vehículos (cargas) que circulan. Esto traerá como consecuencia el desprendimiento de los agregados

A esto se le puede asociar el factor lluvia, el agua que cae en forma de lluvia sobre la superficie terrestre se distribuye en tres formas: una parte se evapora por la acción del sol, otra se infiltra en el terreno que recorre y la última se escurre directamente sobre el terreno que recorre en busca de una corriente de agua.

Esta agua que recorre en busca de una corriente, irá a ser depositada en la falla originada, formando así charcos de agua. Esta cantidad de agua si bien a veces no es muy significativa, causa un gran daño en la estructura de la carretera, ya que algunas veces por mala compactación, el agua ingresa por los vacíos de aire, ocasionando deformaciones o agrietamientos que influirán en el nivel de servicio de la vía.

Dicha humedad no sólo traerá como consecuencia las fallas mencionadas anteriormente sino también, otro tipo de fallas como ser el bombeo o expulsión de agua, a través de grietas formadas en el pavimento, causado por las presiones hidráulicas que se generan al pasar los vehículos.

Al tener un desgaste prematuro en los pavimentos que fueron diseñados originalmente para un flujo vehicular, se deben tomar medidas inmediatas de reposición del

pavimento, teniendo en cuenta el alto costo de la rehabilitación para así brindar una mayor comodidad a los usuarios, se debe investigar nuevos métodos para economizar y obtener mejores resultados de durabilidad en la carpeta asfáltica, brindando así una buena calidad de servicio en nuestro medio, reduciendo la posibilidad de accidentes por las fallas y garantizando la capacidad de la vía en todo momento.

1.3.1.2 Problema

¿Si evaluamos los efectos de los agregados en el daño por humedad de las mezclas asfálticas, podremos obtener el comportamiento de las mezclas ante la presencia de humedad?

1.3.2 Objetivos de la investigación

1.3.2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto que causa el daño por humedad a las mezclas asfálticas los agregados sobre su resistencia, de tal forma que se observe su comportamiento mediante ensayos Marshall.

1.3.2.2 Objetivo específico

- Determinar el daño que causa la humedad de los áridos dentro del pavimento asfáltico y como se lo puede evitar o disminuir este daño, efectuando análisis en los áridos y ligantes de distinto origen para observar su desempeño en las mezclas asfálticas.
- Establecer las propiedades físicas mecánicas de los materiales para la elaboración de un pavimento flexible convencional.
- Elaborar briquetas de mezclas asfálticas convencionales con los dos ligantes asfálticos y los tres agregados.
- Obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico, que para a partir de ahí se elabore briquetas para el desarrollo de la investigación.
- Establecer conclusiones y recomendaciones.

1.4 HIPÓTESIS

Si evaluamos los efectos de los agregados en el daño por humedad mediante laboratorios Marshall con probetas secas y húmedas, entonces sabremos las causas por las cuales las mezclas asfálticas sufren deterioros por humedad, mejorando así su resistencia.

Definición de variables independientes y dependientes

Variable independiente: Mezclas asfálticas

Variable dependiente: Humedad

Tabla 1.2: Conceptualización y operacionalización de variables

Variable	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción
VARIABLE INDEPENDIENTE Mezclas asfálticas	Son aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonatado, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua.	Probetas secas	Resistencia a la tracción indirecta	Se controlará la humedad
		Probetas húmedas		
VARIABLE DEPENDIENTE Humedad	Es la sensibilidad del agua que presentará las probetas secas y húmedas.	Temperatura	Tres tipos de áridos dos mezclas asfálticas	Adhesión y cohesión

Fuente: Elaboración propia

1.5 DISEÑO METODOLÓGICO

1.5.1 Componentes

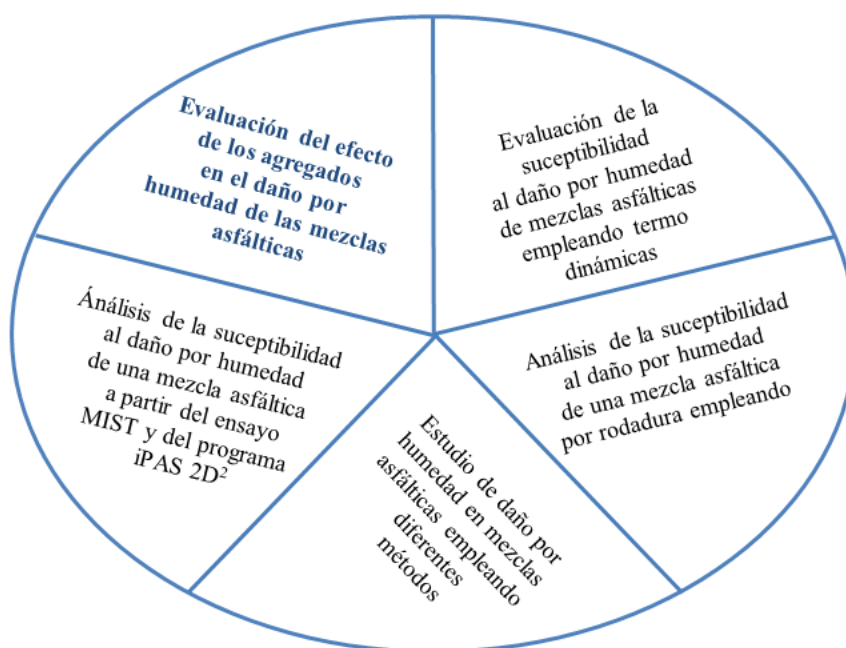
1.5.1.1 Unidad de estudio y decisión muestral

1.5.1.1.1 Unidad de estudio

Efecto de la humedad, se realizarán 15 briquetas secas para los 3 tipos de agregados que serán extraídos de distintos lugares, y se harán 15 briquetas húmedas por cada agregado, estas probetas serán sometidas a la prensa Marshall.

1.5.1.1.2 Población

Figura 1.2: Población



Fuente: Elaboración propia

1.5.1.1.3 Muestra

La muestra será la evaluación del efecto de los agregados en el daño por humedad de las mezclas asfálticas, para lo cual se traerá tres tipos de agregados, y se usará dos tipos de mezclas asfálticas convencionales.

1.5.1.1.4 Muestreo

Se realizará el muestreo a las mezclas asfálticas de tipo 85/100 y 60/70, caracterizándolo, se hará el muestreo a los agregados con su respectiva caracterización. Para el efecto de la humedad se dosificara briquetas secas y húmedas y se romperán en Marshall.

1.6 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.6.1 Selección de métodos y técnicas

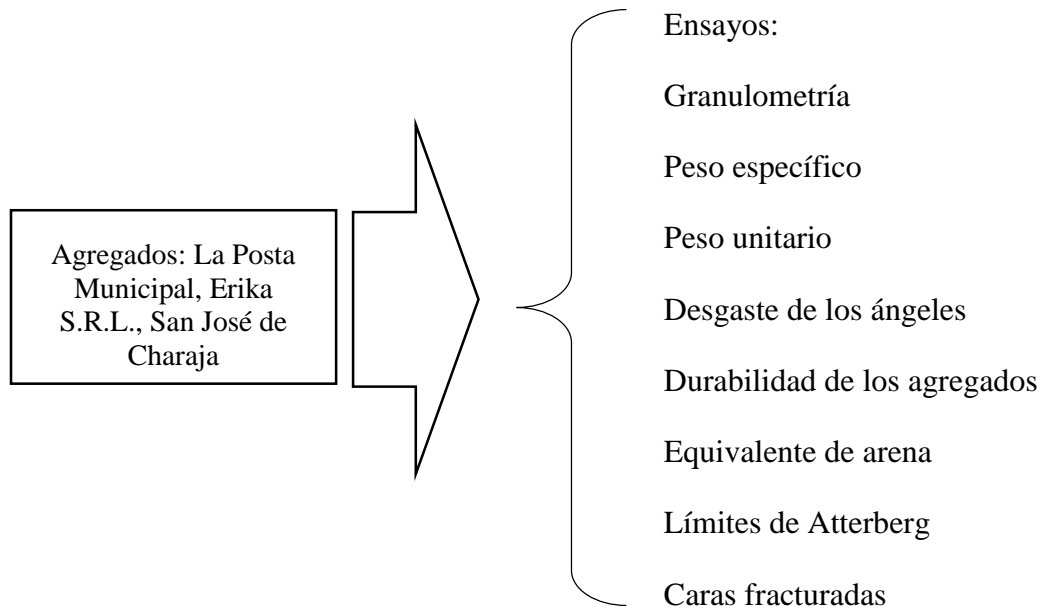
Para la evaluación del efecto de los agregados en el daño por humedad de las mezclas asfálticas, se usará el método inductivo porque este método se basa en la experimentación mediante ensayos de laboratorio, se determinará cómo afecta la humedad en las mezclas asfálticas.

1.6.2 Técnica

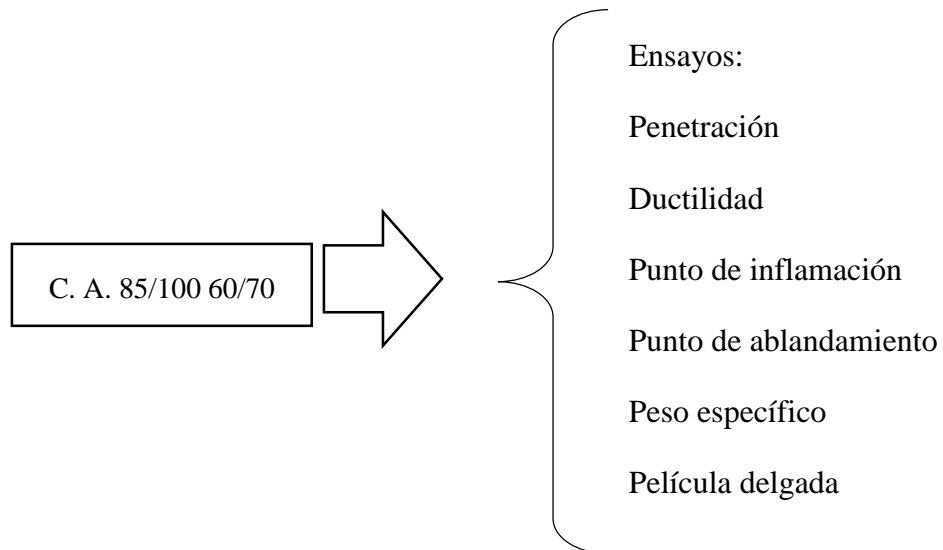
Con los agregados y el cemento asfáltico se utilizará la técnica experimental con ensayos de laboratorios que caracterizarán dichos materiales, se procede a diseñar la mezcla asfáltica, se realizará briquetas, dividiéndolas en dos grupos, uno de secas y otro de húmedas, las cuales serán introducidas en una bolsa con una mezcla de aserrín con agua, para así obtener diferentes niveles de humedad controlados con el instrumento de medición de temperatura y humedad.

Se realizarán los siguientes ensayos:

Caracterización de materiales

Figura 1.3: Caracterización de los agregados**Fuente:** Elaboración propia

Caracterización de cemento asfáltico

Figura 1.4: Caracterización del cemento asfáltico**Fuente:** Elaboración propia

Diseño de mezclas asfálticas mediante el método Marshall

Figura 1.5: Elaboración de briquetas para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Elaboración de briquetas con mezclas asfálticas

Figura 1.6: Elaboración de briquetas húmedas y secas



Fuente: Elaboración propia

Investigación sobre el efecto de la humedad

1.6.3 Descripción de los instrumentos

Para la caracterización de los agregados

Horno eléctrico: el horno eléctrico es utilizado para el secado de los agregados de aportación, y debe contar con una temperatura constante de 100 a 110 °C.

Balanza: la balanza es usada para obtener los distintos pesos que se requiera, con una sensibilidad de 0.1 gr.

Juego de tamices: el juego de tamices debe seguir la norma ASTM E-11, lo cual contiene los tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40, N° 200, tapa y base.

Para la caracterización del cemento asfáltico

Penetrómetro de asfalto: que sirve para determinar la penetración del betún en estudio.

Aparato para la determinación del punto de inflamación Cleveland de copa abierta: con el cual se determina el punto de ignición o punto de llama del betún en estudio.

Ductilímetro: con el cual se determina la ductilidad del betún, a una temperatura estándar de 25 °C.

Peso específico: que sirve para determinar la densidad del cemento asfáltico.

Equipo de punto de ablandamiento: con el cual se realizará el ensayo.

Horno de película delgada: con el cual realizaremos a 163 °C el ensayo

Para la dosificación y diseño de briquetas

Moldes de compactación Marshall: en estos moldes se vaciará la mezcla asfáltica, creando briquetas con distintos porcentajes de betún.

Compactador para moldes Marshall: este compactador sirve para compactar las briquetas según especificaciones técnicas.

Para los ensayos de resistencia técnica

Marco de carga multiplex Marshall: este marco sirve para disponer en él los distintos cabezales, según las pruebas que se requiera.

Cabezal de rotura Marshall: este cabezal junto con el marco multiplex, permite realizarlos ensayos de estabilidad y fluencia para las briquetas en análisis.

1.6.4 Procedimiento de aplicación

Caracterización de los agregados

Para caracterizar los agregados de aporte, se deben someter al horno para un secado y luego someterlo a la serie de tamices, por unos quince minutos aproximadamente, luego de este tiempo proceder al pesaje del material que contiene cada tamiz.

Con estos valores se obtiene las curvas granulométricas para los agregados en estudio. Analizar las curvas granulométricas y compensar los porcentajes, de tal manera que se obtenga una nueva curva granulométrica, optimizando el agregado de aportación. Esta nueva curva granulométrica debe cumplir con las normas que proporcionan rangos máximos y mínimos para cada tamiz.

Caracterización de la mezcla asfáltica

La caracterización de la mezcla asfáltica, se basa en la determinación de sus propiedades ya mencionadas, Estos parámetros deben cumplir con los rangos especificados por normas.

Dosificación y diseño de briquetas

Para la dosificación de las briquetas, se debe tener muy en cuenta las temperaturas tanto de mezcla como de compactación, debido a que es un factor que incide bastante en el comportamiento de las mismas.

Es necesario resaltar que para el diseño de las briquetas se seguirá el método Marshall.

Ensayos de resistencia técnica

Para los ensayos de resistencia técnica, se deben tener listas las briquetas, con su respectiva enumeración, para luego someterlas a las pruebas de densidad, estabilidad y fluencia según el método Marshall.

El ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a tracción indirecta de probetas cilíndricas sometiéndolas a una fuerza de compresión aplicada en una banda estrecha en toda su longitud

1.6.5 Preparación previa

Dentro de la preparación previa a los ensayos, es necesario contar con tablas que permitan la tabulación de datos, donde especifique el lugar de obtención, el tipo de muestra, el ensayo a realizar, la numeración respectiva y los datos que se van a necesitar para cada tipo de ensayo.

1.7 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización y de las pruebas de resistencia técnica, se procede al tabulado. Con los ensayos de caracterización se determina el cumplimiento de requisitos mínimos según normas, que deben tener tanto el cemento asfáltico y de los agregados.

Con los ensayos de pruebas de resistencia técnica se determina las siguientes gráficas:

- 1) Densidad Vs % de asfalto
- 2) Vacíos del total Vs % de asfalto
- 3) % Relación Betún Vs % de asfalto
- 4) Estabilidad Vs % de asfalto
- 5) % Vacíos del agregado mineral Vs % de asfalto
- 6) Flujo Vs % de asfalto

1.8 ALCANCE

Un grave problema en la ingeniería de pavimentos, consisten en la aparición de fallas por la humedad en los áridos de las mezclas asfálticas, que producen deterioro en las vías en corto tiempo, en los proyectos viales la solución más practica e inmediata es la reparación de estas fallas, recubriendo nuevamente en los lugares en donde exista cualquier tipo de grieta.

En nuestro medio estamos propensos a sufrir considerables niveles de precipitaciones, mediante lo expuesto líneas arriba, los pavimentos se ven expuestos a sufrir daños por humedad, donde su principal manifestación es el stripping que conlleva a la separación de la película de ligante de la superficie del árido ya sea por fallos adhesivos, cohesivos, mixtos.

Con este trabajo se pretende determinar elementos para mejorar el estado de las carreteras en nuestro medio, ya que al ser expuestas a la humedad las carpetas internas de la capa estructural sufren daños, los cuales son observados y apreciados en la capa de rodadura estos daños son, fisuras, agrietamientos, asentamientos, baches entre otros.

El presente estudio analiza el comportamiento de distintas mezclas asfálticas fabricadas con tres tipos de áridos y dos tipos de ligantes asfálticos, donde se realizan briquetas mediante ensayos Marshall, subdividiéndolas en grupos de probetas secas y húmedas. Estas últimas se someterán a un tratamiento de inmersión con una mezcla de aserrín con agua para que adquieran diferentes porcentajes de humedad.

La mayoría de las mezclas asfálticas, cuando son sometidas a los efectos del agua, presentan una disminución en la resistencia a la tracción indirecta, debido a un debilitamiento en la capacidad adhesiva y cohesiva de la matriz, árido-ligante.

También tomar en cuenta las características de los áridos como ser, su angulosidad, textura, superficie específica, ya que estos tienen un efecto importante en el desempeño de las mezclas asfálticas frente al daño por humedad.

Mejorando estos daños, por ende se mejorará la vialidad y circulación más segura y cómoda para los automóviles a transitar por dicha carretera, evitando así riesgos de accidentes.

En el primer capítulo, se describe de manera general de que trata la investigación, se plantea el problema y se realiza las justificaciones por el cual está siendo desarrollado el tema.

El segundo capítulo, comprende la parte teórica, referida a las mezclas asfálticas, los materiales utilizados (agregados y ligantes asfálticos), las caracterizaciones de los agregados y de los ligantes asfálticos.

En el tercer capítulo, se aplica el diseño de briquetas con el método Marshall, con dos tipos de análisis, el primero con la mezcla asfáltica (briqueta) seca y el segundo con una mezcla asfáltica (briqueta) sumergidas en humedad, para luego hacer un análisis final de datos, y comparar los resultados obtenidos.

El cuarto capítulo, establece las conclusiones a partir de lo planteado en los objetivos, dándose a conocer los resultados finales de las comparaciones que se tendrá de las mezclas asfálticas con probetas secas y húmedas, con diferentes tipos de ligantes asfálticos y áridos extraídos de diferente lugar y las recomendaciones para la correcta aplicación y ejecución de este trabajo.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES

El pavimento es la estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos con seguridad, comodidad y con el costo óptimo de operación. Entre sus características están: superficie uniforme, superficie impermeable, color y textura adecuados, resistencia a la repetición de cargas, resistencia a la acción del medio ambiente, que no transmita a la terracería esfuerzos mayores a su resistencia.

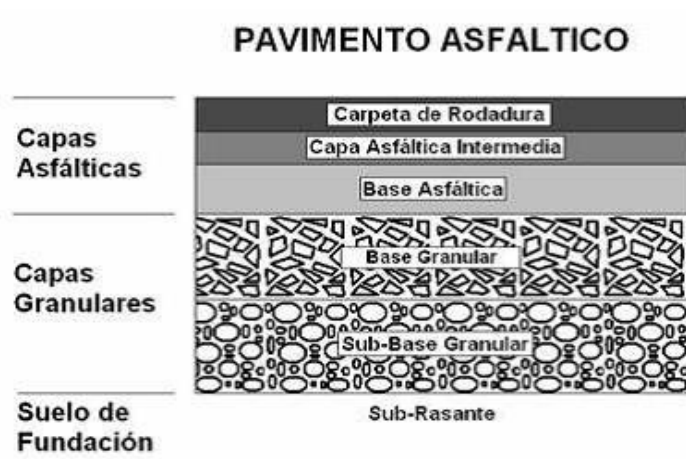
El pavimento flexible o asfáltico está conformado por una subbase y base granular, y una superficie de rodamiento, que pueden ser tratamientos superficiales y mezclas asfálticas en caliente elaborada en planta, pudiendo tener incluso un riego de sello aplicado sobre la superficie de la carpeta.

En este tipo de pavimentos, la carga se disipa hasta el subsuelo a través del sistema de capas granulares que componen la estructura, donde la calidad va gradualmente descendiendo, es decir, de mayor a menor calidad, por lo que la base granular, que es la capa situada inmediatamente debajo de la carpeta asfáltica, recibe la mayor cantidad de esfuerzos producto de los efectos del tránsito. La subbase granular es la capa ubicada entre la base y la subrasante, cuya función es proporcionar un cimiento adecuado para la base y evitar que el agua del suelo ascienda.

Las capas asfálticas están formadas por áridos con una granulometría seleccionada de acuerdo a la norma, que son mezclados con cemento asfáltico, material visco-elástico que permite ser trabajable a elevadas temperaturas y que su comportamiento mecánico permita pequeñas deformaciones elásticas.

La carpeta de rodadura es la capa de la estructura más importante en términos de contrarrestar los efectos superficiales del tránsito y ambientales del sector donde se aplique y que al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

En la Figura 2.1 se muestra un esquema representativo de un pavimento flexible:

Figura 2.1: Estructura tipo de un pavimento asfáltico

Fuente: Seguimiento y comparación del comportamiento de tramos con mezcla drenante, según zona geográfica y condiciones locales.

De los diferentes tipos de mezclas existentes que se pueden emplear en pavimentos flexibles, las mezclas asfálticas en caliente son las que presentan mejores propiedades de desempeño y son las más utilizadas en vías de alto tráfico vehicular.

2.1.1 Composición química del cemento asfáltico

El ligante asfáltico corresponde a una compleja mezcla de moléculas polares y apolares, donde predominan los hidrocarburos, combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono. Otros elementos como el azufre, oxígeno y nitrógeno también pueden estar presentes, así como trazas de vanadio, níquel y manganeso. Dada esta complejidad química, se debe mencionar que la composición del asfalto depende particularmente de su fuente y del proceso de destilación. Un análisis elemental de asfaltos fabricados a partir de diversos crudos de petróleo muestra que la mayoría de los asfaltos contiene cierto porcentaje de elementos, presentados en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Porcentaje de elementos químicos constituyentes del ligante asfáltico

Elemento	Rango observado
Carbono (C)	82-88 %
Hidrógeno (H)	8-11 %
Azufre (S)	0-6 %
Oxígeno (O)	0-1,5 %
Nitrógeno (N)	0-1 %

Fuente: Manual del asfalto

La composición química del ligante asfáltico es extremadamente compleja y está lejos de resolverse, ya que determinar con exactitud cada uno de los componentes, no resultaría práctico, pues sería laborioso buscar correlación entre los distintos componentes y las características reológicas del ligante asfáltico.

2.1.2 Producción de asfalto

El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del crudo de petróleo. Es un proceso en el cual las diferentes fracciones son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de la temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

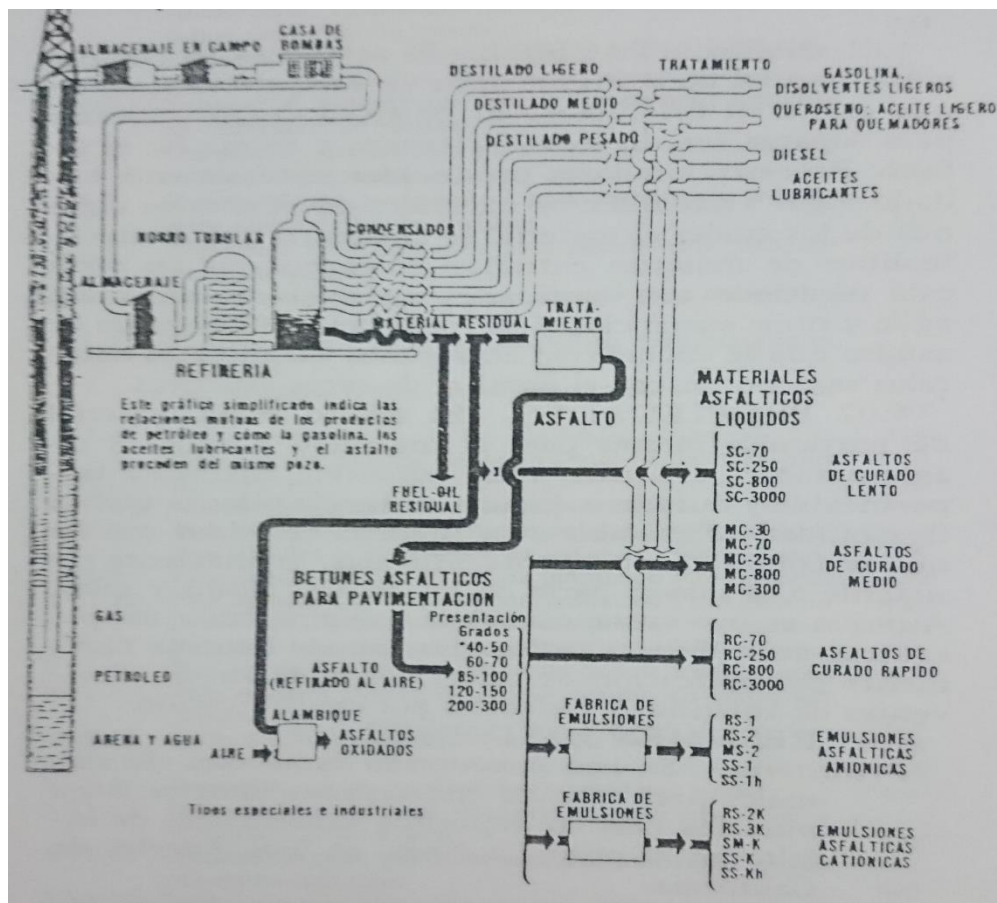
Destilación por vacío

Extracción con solventes

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480 °C (900 °F), ésta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. En las refinerías se deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos. Esto se logra la mayor parte de las veces, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos, para producir grados intermedios. Así un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso, pueden ser combinados para obtener un asfalto con viscosidad intermedia.

Figura 2.2: Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto.



Fuente: Manual del asfalto

2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Es el producto resultante de la mezcla en caliente de áridos y polvo mineral (filler) recubiertos por una película continua de ligante asfáltico, uniformemente combinados, en proporciones previamente especificadas. Normalmente, las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5 % de polvo mineral (filler) y otro 5 % de ligante asfáltico.

Se denominan mezclas en caliente, a aquellas mezclas donde los áridos y el ligante asfáltico (convencional o modificado con polímeros), se someten a elevadas temperaturas, sobre los 150 °C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla. El proceso de mezclado se realiza en una planta asfáltica que posteriormente es

transportada, colocada y compactada en obra a temperaturas muy superiores a la ambiente.

Estas mezclas se emplean en la construcción de pavimentos, ya sea en su base asfáltica, capa asfáltica intermedia y carpeta de rodadura, cuya función es proporcionar una superficie cómoda, segura y económica para los usuarios de las vías y además transmite las cargas vehiculares hacia las capas más profundas, absorbiendo una parte de esta sollicitación.

2.3 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Alguna de las propiedades fundamentales que deben tener las mezclas asfálticas son:

Durabilidad

Propiedades de las mezclas que hace que el pavimento sea capaz de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima. Éste último factor, afecta principalmente al asfalto de la capa superficial por estar en contacto con el sol (rayos UV), el aire y el agua, provocando que este material pierda las propiedades aglutinantes, se oxide, se endurezca y envejezca, afectando la vida útil del pavimento.

Estabilidad

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Esta propiedad depende de la cohesión de la mezcla y de la fricción interna de los agregados pétreos.

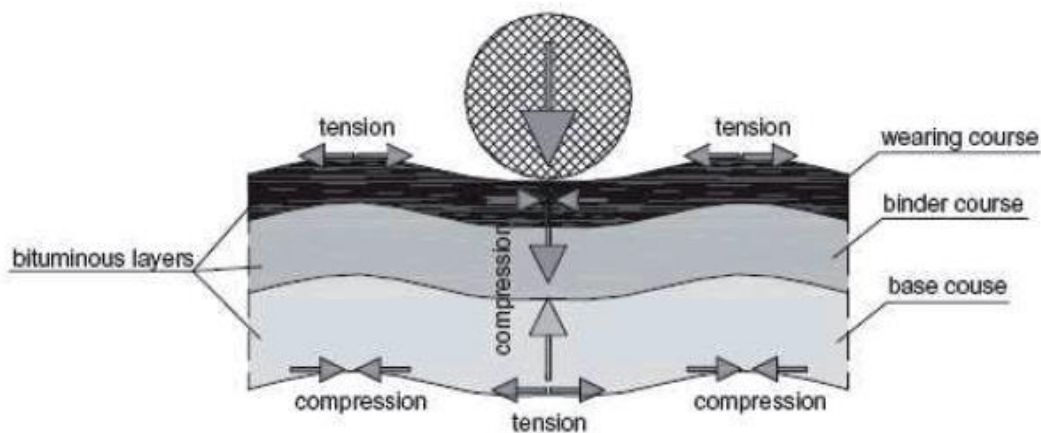
La fricción depende del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras, por lo que las mezclas con materiales más gruesos y de caras angulosas tendrán mayor estabilidad que mezclas con materiales finos. La cohesión es la fuerza aglutinante de la mezcla que depende fundamentalmente de la capacidad que tenga el asfalto de mantener unido los áridos. La pérdida de estabilidad en un pavimento se traduce en ahuellamiento y ondulaciones.

Resistencia a la fatiga

Es la capacidad del pavimento asfáltico para soportar la falla estructural que se presenta cuando los materiales que componen la estructura, al ser sometidas a cargas repetitivas

por acciones del tránsito vehicular, sufren un agrietamiento relacionado con la deformación o tensión horizontal en tracción en la base de cada capa. En la Figura 2.3 se observan las tensiones ejercidas sobre el pavimento.

Figura 2.3: Tensiones producidas por cargas del tráfico



Fuente: Mecanismos de fisuración en pavimentos bituminosos

2.4 LIGANTE ASFÁLTICO

Son aquellas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas compuestas esencialmente por hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos del petróleo por destilación o extracción. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

Por su parte, la ASTM (American Society of Testing and Materials) define el ligante asfáltico como un material cementicio de color café oscuro-negro, en el cual los constituyentes predominantes son betunes. Estos se encuentran en la naturaleza o pueden ser obtenidos luego del procesamiento del petróleo.

Durante mucho tiempo la principal fuente para la obtención de ligante asfáltico correspondió a yacimientos naturales. Los asfaltos naturales provienen del crudo de petróleo, el cual a través de procesos naturales, volatiliza las fracciones livianas, quedando como residuo el ligante.

La gran versatilidad de los materiales bituminosos hace que éstos sean los más utilizados para la construcción y mantenimiento de estructuras de pavimentos flexibles. El asfalto es denominado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades, es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

2.4.1 Propiedades físicas del ligante asfáltico

Las propiedades físicas están relacionadas con la consistencia del asfalto que depende principalmente de la temperatura a la que se encuentre por tratarse de un material visco elástico termo-dependiente.

Consistencia y susceptibilidad térmica

El asfalto es un material termoplástico, cuya consistencia cambia con la temperatura, la magnitud y duración de la carga. La susceptibilidad térmica se define como el cambio de la consistencia, medida generalmente por la viscosidad, por un cambio de la temperatura. Es una propiedad inherente en todos los ligantes asfálticos, que se debe manejar y aprovechar al máximo. Se requieren dos medidas de la viscosidad como mínimo para establecer la susceptibilidad térmica de un asfalto. Los ligantes asfálticos con un alto grado de susceptibilidad térmica no son deseables, ya que su viscosidad a 135 °C resultaría muy baja pudiendo ocasionar inconvenientes durante su proceso de mezclado y compactación. Por otra parte, a bajas temperaturas de servicio su viscosidad puede resultar muy alta y ser causante de problemas de fisuramiento por contracciones térmicas.

2.5 ADHERENCIA EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

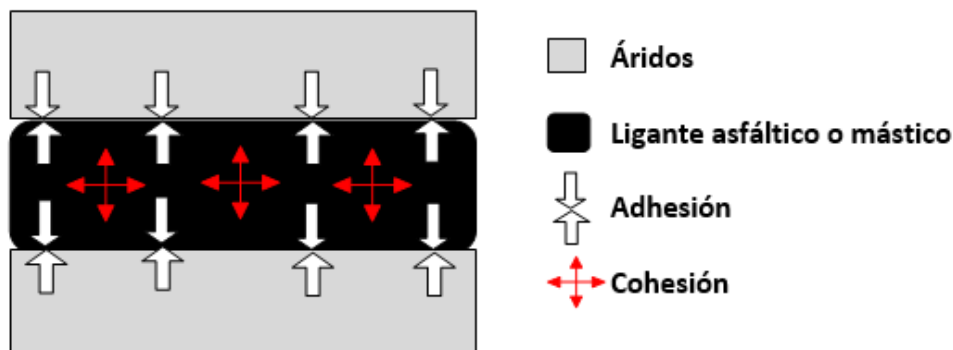
Con el objetivo de comprender de mejor manera los deterioros producidos en las mezclas asfálticas cuando éstas son sometidas a distintos tipos de sollicitaciones en las estructuras de pavimento, es fundamental entender con claridad los conceptos de adhesión, cohesión y adherencia.

La adhesión se define como la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares y mecanismos de anclaje.

La cohesión se define como la propiedad que mide la fuerza de atracción entre las partículas o moléculas de un mismo cuerpo o material.

En el contexto de las mezclas asfálticas, la adhesión puede ser utilizada para referirse a la cantidad de energía que se requiere para lograr romper la unión entre el ligante asfáltico y los áridos, mientras que la cohesión puede ser utilizada para referirse a la energía que se requiere para romper las fuerzas intermoleculares que mantienen unidas las moléculas dentro del propio ligante. Este fenómeno se puede apreciar con mejor claridad en la Figura 2.4, que muestra cómo interactúan los esfuerzos de adhesión y cohesión entre los componentes principales de la mezcla asfáltica.

Figura 2.4: Adhesión y cohesión

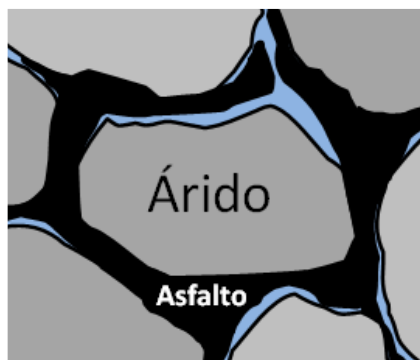


Fuente: Factores implicados en la capacidad adhesiva y cohesiva del ligante asfáltico

La adherencia se define como la capacidad de un ligante para quedar fijo en el árido, al que recubre sin peligro de desplazamiento, incluso en presencia de agua, tránsito y cambios bruscos de temperaturas.

Podemos definir la pérdida de adherencia como el fenómeno que se produce al penetrar el agua en la interfaz árido-ligante como consecuencia de la deficiente envoltura por parte del ligante hacia el árido o a la aparición de micro-poros o fisuras en el ligante. Por otro lado, la gran afinidad que posee el agua con la mayoría de los áridos facilita el proceso de separación en la interfaz, ya que si el árido no está completamente cubierto de ligante, el agua ingresará fácilmente y provocará un desprendimiento en los componentes, produciendo deterioros en el pavimento.

Figura 2.5: Pérdida de adherencia en la interfaz árido-ligante



Fuente: Factores implicados en la capacidad adhesiva y cohesiva del ligante asfáltico

2.5.1 Teorías de adhesión en la unión árido-ligante

Teoría mecánica de adhesión

La adhesión mecánica es afectada por varias propiedades físicas del árido como la textura superficial, la porosidad (absorción), angulosidad, área superficial y tamaño de la partícula. A menudo se afirma que mientras más rugosa sea su textura superficial del árido habrá un mayor poder de adhesión entre el árido y el ligante.

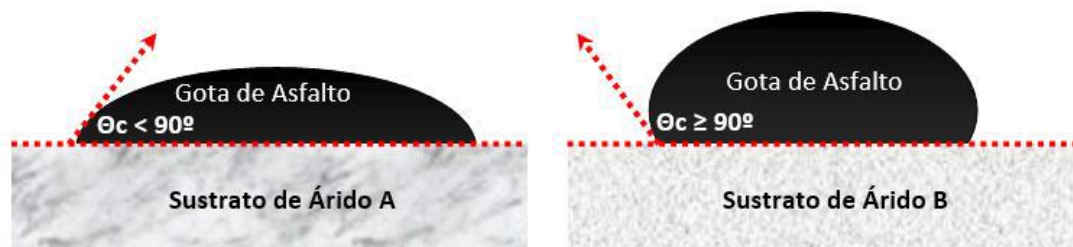
Teoría de la reacción química

Esta teoría considera la atracción química los componentes, donde la acidez del asfalto y la alcalinidad de los áridos determinan la fuerza de esta unión.

Teoría de adsorción

Esta teoría se explica a través de conceptos como el ángulo de contacto (θ_c), la humectabilidad y la tensión superficial. Por ángulo de contacto se entiende la forma que se genera cuando interactúa el ligante asfáltico con la superficie del árido, para ángulos inferiores a 90° hay un correcto mojado del árido creando una correcta adhesión, cuestión que no ocurre para ángulos superiores a 90° . La tensión superficial es la resistencia que presenta el ligante a deformarse o romperse y la energía superficial es la propiedad del árido para atraer o repeler al ligante asfáltico a través de fuerzas intermoleculares. Cuando el árido dispone de una alta energía superficial, tiende a atraer al ligante que posee una baja tensión superficial debido a una pérdida de viscosidad generando θ_c inferior a 90° .

Figura 2.6: Ángulo de contacto entre el árido y ligante asfáltico



Fuente: Factores implicados en la capacidad adhesiva y cohesiva del ligante asfáltico

2.5.2 Factores internos influyentes en la unión árido-ligante

Interacción química en la interfaz árido-ligante

La adherencia entre la matriz árido-ligante se ve muy afectada cuando se tiene presencia de agua. Por una parte, el ligante asfáltico es hidrofóbico es decir, no presenta afinidad con el agua, no así el árido, ya que la gran mayoría son clasificados como hidrofílicos u oleofóbicos. En otras palabras, los áridos se dejan humectar de mejor manera por el agua que por los ligantes.

Se debe tener en cuenta que el ligante asfáltico, debido a su naturaleza ácida, exhibe una carga superficial negativa (-) lo que hace que posea una buena afinidad sobre los áridos con carga superficial positiva, como el caso de los áridos calizos, como caliza o mármol, aportando una buena adhesión con el ligante asfáltico, por el contrario, los áridos silicios (ácidos), como cuarzos y granitos, logran una mala adhesión con el ligante debido a su carga superficial negativa (-).

Contenido de ligante asfáltico y espesor de recubrimiento

El contenido de ligante asfáltico es un factor muy importante a considerar para obtener mezclas más resistentes a la fisuración. Las proporciones pueden variar desde el 3 % al 6 % de ligante en volumen de agregados pétreos.

El contenido de ligante está relacionado con el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas. Un contenido demasiado alto de vacíos genera espacios a través de la mezcla, por los cuales puede entrar agua y el aire, causando deterioros como desprendimientos de áridos. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir la

expansión del ligante, condición en donde el exceso de éste es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie produciendo exudaciones en la mezcla.

En cuanto al espesor de recubrimiento, la mayor cantidad posible de ligante asfáltico aumenta la durabilidad de las mezclas, ya que las películas gruesas no se envejecen tan rápido, y por ende, el ligante retiene por más tiempo sus características originales. Sin embargo, recubrimientos muy finos contribuyen a un envejecimiento prematuro de la mezcla, lo que conlleva a un incremento en la fragilidad de ésta.

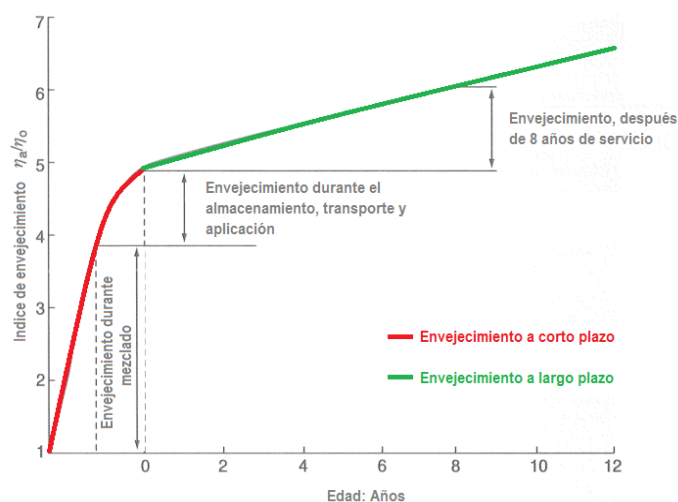
2.5.3 Factores externos en la unión árido-ligante

Efectos del envejecimiento del ligante asfáltico

El ligante asfáltico es un compuesto orgánico que envejece. La principal característica de este fenómeno es la rigidización del ligante, lo que comúnmente se conoce como endurecimiento por envejecimiento.

El envejecimiento de las mezclas asfálticas es un proceso complejo el cual ocurre durante el mezclado en planta, la construcción de la carretera y la vida de servicio del pavimento. Está ampliamente aceptado que el mecanismo de funcionamiento del envejecimiento ocurre en dos etapas: a corto y largo plazo. La primera etapa del fenómeno se debe a la pérdida de componentes volátiles mientras la mezcla está a elevadas temperaturas, y la segunda se produce por las condiciones ambientales y los efectos del clima que genera una oxidación progresiva durante el tiempo de servicio.

Figura 2.7: Envejecimiento a corto y largo plazo del ligante asfáltico



Fuente: Factores implicados en la capacidad adhesiva y cohesiva del ligante asfáltico

La consecuencia de ambas etapas es el mismo, el endurecimiento global del ligante. Por lo tanto, el envejecimiento se considera como un daño superficial pero que a la postre, contribuye en el deterioro del pavimento ya que al producirse el endurecimiento y fragilidad de la película de ligante, incrementa el potencial de agrietamiento que permite el ingreso del agua al interior del pavimento, lo que a su vez generará problemas de adherencia en la matriz árido-ligante.

Los principales factores que contribuyen al envejecimiento acelerado del ligante asfáltico son: la oxidación, pérdida de los componentes volátiles y la exudación.

Sin embargo, varios investigadores indican que la oxidación es el factor con mayor incidencia en el envejecimiento del ligante asfáltico.

Oxidación del ligante asfáltico

La oxidación es un proceso químico irreversible que causa el envejecimiento del ligante asfáltico, y comienza cuando éste entra en contacto con el oxígeno atmosférico.

A nivel químico, la oxidación del ligante asfáltico se produce en un modelo secuencial dual. En la primera fase, el oxígeno se combina con moléculas de hidrocarburos altamente reactivos presentes en el ligante, generando como productos principales sulfóxidos (compuestos polares) y radicales libres, que aportarían energía necesaria para continuar con la segunda fase de oxidación, la cual transcurre a menor velocidad y se atribuye a que el oxígeno se combina con hidrocarburos de menor reactividad, lo cual deja como producto de oxidación principalmente: cetonas, sulfóxidos, ácidos carboxílicos y anhídridos.

Debido a la generación de cetonas, sulfóxidos y ácidos carboxílicos tras el proceso oxidativo, conlleva a una alta polaridad del sistema, que a su vez provoca una polimerización de las moléculas de asfalto. El ligante asfáltico experimenta ciertos cambios en su estructura molecular es decir, que este aumento de polaridad se traduce en el incremento de la fracción de asfaltenos unido a una disminución de los compuestos aromáticos, a través de un proceso asociativo: los compuestos aromáticos se convierten en resinas y las resinas en asfaltenos, provocando un aumento en la viscosidad del ligante, endureciéndolo y haciéndolo menos flexibles. Producto del proceso oxidativo,

los anhídridos y ácidos carboxílicos, corresponde a compuestos solubles en agua, contribuyendo a potenciar patologías asociadas al daño por humedad.

Llevando esto a la práctica, durante el proceso de mezclado, el volumen de ligante asfáltico necesario para producir la mezcla se extiende formando una película delgada hasta cubrir totalmente la superficie de los áridos, quedando expuesto al contacto con oxígeno y a alta temperatura en forma de film de espesores que van entre los 6 a 8 micrones. Esto se traduce en una elevada tasa de oxidación y en la pérdida de componentes volátiles producto de las altas temperaturas de mezclado y compactación que facilitan la movilidad de las especies reactivas a la oxidación. A este primer proceso de envejecimiento se le denomina envejecimiento primario o de corto plazo.

Posteriormente, el proceso oxidativo continúa aunque a una menor velocidad, debido a la presencia de oxígeno y a la exposición a la luz solar (fotooxidación) y en los casos que concierne, ayudado por la presencia de altas temperaturas de pavimento. En este caso, el proceso oxidativo se desarrolla más severamente en la superficie del pavimento, que es donde se concentran la mayoría de los factores que contribuyen a su desarrollo. A este proceso se le ha denominado envejecimiento secundario o de largo plazo.

Efecto del agua (daño por humedad)

La presencia de agua o humedad puede producir el despegue justo en la interfaz entre el ligante y el árido es decir, un fallo adhesivo. Esto se produce porque el agua penetra entre el ligante asfáltico y la superficie del árido, reemplazando al ligante como revestimiento del árido.

Por lo tanto, el agua es el contribuyente directo al daño por humedad en los pavimentos asfálticos.

2.6 DAÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

El daño provocado por la humedad o el agua es un fenómeno complicado de deterioro en los pavimentos asfálticos y su principal manifestación se conoce como stripping o pérdida de recubrimiento.

Esta parte tiene como objetivo conocer el efecto del agua y el fenómeno de stripping en las mezclas asfálticas, los deterioros asociados al daño por humedad, los mecanismos

que lo producen e indagar en algunos métodos de ensayos relacionados para evaluar dicho daño.

2.6.1 Fuentes de humedad en las mezclas asfálticas

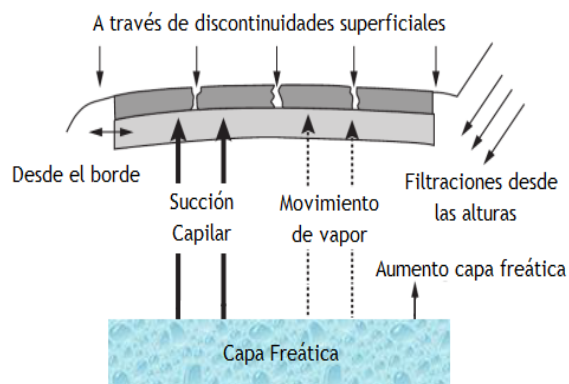
La presencia de agua en un pavimento de asfalto es inevitable. En la Figura 2.8 se observa que diversas fuentes pueden conducir a la presencia de agua en el interior de una mezcla asfáltica.

La precipitación atmosférica en forma de lluvia, granizo, niebla o rocío es la fuente más común, debido a que el agua entra directamente al interior de la mezcla asfáltica a través de superficies discontinuas, como grietas y los vacíos de aire interconectados.

Además, el agua también puede hacer ingreso por los bordes y las juntas entre capas asfálticas adyacentes formadas durante la construcción, siendo ésta una vía de fácil acceso.

Alternativamente, el agua puede ingresar en la estructura de pavimento debido a la ascensión capilar de agua proveniente de la superficie inferior del pavimento, causado por un aumento en el nivel freático.

Figura 2.8: Fuentes de humedad en un pavimento asfáltico



Fuente: <https://www.slideshare.net/mobile/castilloaroni/modulo-5-consideraciones-sobre-drenaje-en-los-pavimentos-fernando-snchez-sabogal>

2.6.2 Principales deterioros asociados al daño por humedad

Existen deterioros asociados de manera directa con el daño por humedad en los pavimentos asfálticos, los cuales son el raveling y el stripping.

El raveling es la desintegración progresiva de la superficie del pavimento asfáltico causado por la pérdida de ligante y/o el desprendimiento de los áridos. Los pequeños movimientos de áridos a causa del tráfico o movimiento del agua, desarrollan suficientes esfuerzos de tracción y tensiones que exceden la resistencia de rotura que posee el ligante asfáltico. Un raveling en un nivel leve a moderado se tiene la pérdida del árido fino y mientras que en un nivel severo incluye la pérdida de árido grueso.

Este fenómeno se produce por, la humedad o derrame de solventes (aceites o combustibles) que inducen la separación de la película de ligante asfáltico de la superficie del árido.

La oxidación del ligante asfáltico.

La pobre o mala compactación durante la construcción e insuficiente contenido de ligante en la mezcla.

El raveling causado por el tráfico se produce generalmente durante el clima frío o húmedo, cuando la rigidez del ligante asfáltico es alta. También puede ser causado por la acción abrasiva de los neumáticos, especialmente en las intersecciones y zonas de estacionamientos.

Figura 2.9: Raveling y stripping en pavimentos asfálticos



Fuente: Caracterización del daño por humedad en mezclas asfálticas

El stripping, de acuerdo a la literatura contiene varias definiciones. El instituto del asfalto lo define como, la ruptura de la unión adhesiva entre la superficie del árido y el ligante asfáltico. Tradicionalmente, la mayoría de los investigadores han asociado la acción del agua en la definición de este fenómeno muy recurrente en los pavimentos asfálticos.

Figura 2.10: Bacheo producto del desprendimiento o stripping



Fuente: Elaboración propia

Entre los fallos más frecuentes asociados al fenómeno de envejecimiento se encuentran la fisuración en bloque, la fisuración transversal y el agrietamiento por fatiga.

La fisuración en bloque se caracteriza por presentar grietas que conforman una serie de trozos aproximadamente rectangulares y la fisuración transversal por presentar grietas aproximadamente normales o perpendiculares al eje del camino. Ambos fallos son causados principalmente por tensiones generadas debido a diferenciales térmicos en mezclas asfálticas con módulos de rigidez muy altos, en las cuales se generan retracciones superficiales.

Figura 2.11: Fisuración en bloque y transversal



Fuente: Elaboración propia

El agrietamiento por fatiga, también conocido como piel de cocodrilo, se caracteriza por tener un patrón geométrico descrito por numerosas grietas interconectadas entre sí, formando trozos de ángulos agudos. Ocurre generalmente en la zona de rodado de la calzada, en la cual la mezcla asfáltica sufre un fatigamiento o pérdida paulatina de sus propiedades estructurales, producto de las numerosas y repetidas cargas del tráfico vehicular.

Figura 2.12: Piel de cocodrilo

Fuente: Elaboración propia

En definitiva, el agua o humedad tiende a acelerar estos tipo de deterioros mencionados, ya que a través de las microfisuras o microporos generados en la película de ligante a causa de un envejecimiento de este, se permite el ingreso de agua en la interfaz árido-ligante, produciendo el despegue de ambos constituyentes y finalmente el desprendimiento de los áridos en la mezcla.

Otro deterioro asociado son los baches, que son cavidades normalmente redondeadas que se forman al desprenderse mezcla asfáltica. Entre sus posibles causas se encuentran: pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de sollicitaciones y características de la subrasante, drenaje inadecuado, defecto de construcción y derrame de solvente o quema de elementos sobre el pavimento. Este tipo de deterioros también se ve incrementada su severidad al interactuar con el agua o humedad.

Figura 2.13: Bache

Fuente: Elaboración propia

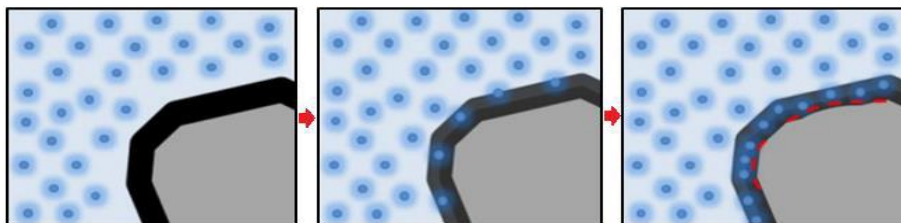
2.6.3 Mecanismos asociados al daño por humedad

a) Desprendimiento

Es la separación de la película de ligante asfáltico de la superficie del árido debido a la presencia de agua, asumiendo una película de ligante continua sin la presencia de grietas. En este caso, la presencia de humedad en la interfaz puede ser solamente atribuida al proceso molecular de difusión.

Cuando una película de ligante se expone a un ambiente húmedo, gradualmente la humedad comienza a infiltrarse a través de la película hacia la zona de interfaz adhesiva. Dependiendo de la característica de difusión de la humedad y del espesor de la película bituminosa, la cantidad de humedad en la interfaz varía con el tiempo. Una vez que la humedad llegue a las interfaces, causará progresivamente la separación del ligante asfáltico en el árido.

Figura 2.14: Daño del ligante asfáltico y la interface árido-ligante debido a la difusión de humedad



Fuente: Caracterización del daño por humedad en mezclas asfálticas

b) Desplazamiento

Este mecanismo ocurre cuando la película de ligante asfáltico se desplaza o se remueve de la superficie del árido por la acción del agua o humedad.

En este caso, a diferencia del desprendimiento, la infiltración de agua o humedad en la zona de interfaz adhesiva se produce por existir una ruptura en la película de ligante. La fuente de la ruptura puede ser generada por un revestimiento incompleto de la superficie del árido, rotura de la película en las esquinas o bordes afilados del árido.

Figura2.15: Mecanismos de fallo, desprendimiento y desplazamiento



Fuente: Caracterización del daño por humedad en mezclas asfálticas

En este fenómeno, se hace partícipe el envejecimiento, debido a que algunos productos de las reacciones de oxidación corresponden a compuestos solubles en agua, los cuales debilitan la película de ligante que cubre los áridos, permitiendo el ingreso de agua a través de microporos debido a la solución de compuestos, o bien a través de microfisuras producto de la fragilización del ligante.

c) Emulsificación espontánea

La emulsificación espontánea sucede cuando el agua se dispersa en el ligante asfáltico, formando una emulsión invertida como se le denomina normalmente. Basado en un estudio realizado por Fromm (1974), la emulsión invertida hará que las partículas del propio ligante se debiliten, separando una de la otra (fallo cohesivo) y, en última instancia, conduce al fallo adhesivo cuando la emulsión se propaga a la superficie revestida de los áridos.

d) Presión de poros

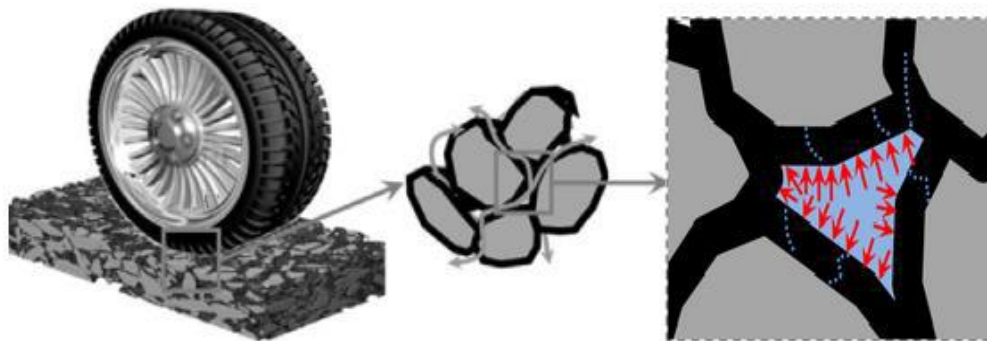
La presión de poros también puede generar daño por humedad en mezclas asfálticas con altos contenidos de vacío, como en el caso de mezclas abiertas en las que el agua puede circular por los poros interconectados. El agua atrapada en dichos vacíos de la mezcla asfáltica puede conducir a la presión de poros debido a las cargas reiteradas del tránsito.

Las tensiones transmitidas al agua atrapada en los vacíos de aire de una mezcla asfáltica debido a las diversas aplicaciones de las cargas generadas por el tránsito, empeora el daño por el continuo incremento en la presión de los poros, alterando la película de

asfalto de la superficie del árido pudiendo causar micro-grietas y el posterior crecimiento de estas.

Por otra parte, la congelación de agua presente en el pavimento también tiene el efecto expansivo del agua atrapada, pudiendo dañar la película de ligante.

Figura 2.16: Agrietamiento del ligante asfáltico debido a la acción de bombeo



Fuente: Mecanismos de fisuración en pavimentos bituminosos

e) Socavación hidráulica

La socavación hidráulica, también denominada “acción de bombeo”, ocurre en la capa de rodadura y es causada por la acción de los neumáticos del vehículo sobre la superficie de pavimento saturado debido a precipitaciones acentuadas. Este mecanismo de fallo provoca altas tensiones de compresión y tracción originadas en la zona delantera y trasera del neumático, respectivamente. En otras palabras, se generan altas presiones delante del neumático y succión detrás del mismo.

De acuerdo a lo anterior el ligante asfáltico se separa de la superficie del árido, produciendo deterioros conocidos comúnmente como raveling. Además, la existencia de polvo en suspensión y sedimentos en el agua pueden actuar como un abrasivo, y por ende, acelerar el desprendimiento.

CAPÍTULO III

EFECTO DE LA HUMEDAD EN LAZ MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para conocer y analizar posteriormente la incidencia que tiene los agregados dentro de las mezclas asfálticas en el daño por humedad se realizó el siguiente procedimiento:

Primeramente se realizó un diseño con diferentes porcentajes de asfalto, los cuales fueron 4,5 % - 5,0 % - 5,5 % - 6,0 % y 6,5 % esto con la finalidad de obtener el diseño óptimo de la mezcla. Para luego a partir de estos resultados realizar la investigación correspondiente con briquetas secas y húmedas.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

3.2.1 Selección de materiales

Los materiales a utilizar deben cumplir con las especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO, para el presente proyecto se utilizó materiales de tres bancos distintos existentes en la ciudad de Tarija, que se ajustan dentro de las normativas vigentes.

Los cuales son: material pétreo de la comunidad San José de Charaja, ubicado en el Municipio de Uriondo, que provisiona material para la institución del SEDECA de Tarija. Otro material utilizado es de La Posta Municipal perteneciente a la Alcaldía de la ciudad de Tarija, el cual es extraído de la comunidad de San Mateo ubicado en la provincia Cercado, de la chancadora Garzón, y por último, tenemos el material de la empresa Erika S.R.L ubica en la comunidad de El Rancho, provincia Méndez.

Figura 3.1: Grava ¾” empresa Erika S.R.L.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2: Gravilla 3/8" empresa Erika S.R.L.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3: Arena empresa Erika S.R.L.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4: Ubicación de la planta de agregados, San José de Charaja



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Grava ¾” San José de Charaja



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6: Gravilla 3/8” San José de Charaja



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Arena, San José de Charaja



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Criterio de diseño normalizado

Para el diseño de mezclas asfálticas, se debe cumplir con la caracterización mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO y ASTM, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 3.1: Ensayos de laboratorio normalizados para agregados

Ensayos de laboratorio para agregados	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano que clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 104 ASTM C 88	El objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica esencial cuando el agregado va estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportaran los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando estos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%
Equivalente de Arena	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un método rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de Partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la Cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
Gravedad específica y absorción del agregado grueso y fino	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C 127 ASTM C 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un periodo largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Proctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

Fuente: Manual del asfalto

Tabla 3.2: Ensayos de laboratorio normalizados para asfaltos

Ensayo de laboratorio para ASFALTOS	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO 201 ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los Cementos Asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los Cementos Asfálticos.
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en decimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicaran consistencias suaves.
Punto de Inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.
Ductilidad	AASHTO T 53 ASTM D 36	Provee de una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.
Punto de reblandecimiento	AASHTO T 53 ASTM D 36	La temperatura determinada como de Reblandecimiento, representa aquella a la cual un cemento asfáltico alcanzará un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.
Ensayo de flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. Este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Solubilidad en Tricloroetileno	AASHTO T 44 ASTM D 2042	Este ensayo indica la porción de constituyentes cementantes activos en el asfalto ensayado es decir se utiliza para medir la pureza del asfalto. En esta prueba las sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, se consideran impurezas.
Peso específico	AASHTO T 288 AASHTO T 85 AASHTO T 84	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son: <ul style="list-style-type: none"> • Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura – volumen. • Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. Se determina normalmente por el método del picnómetro.
Endurecimiento y envejecimiento	AASHTO T 51 ASTM D 113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente.

Fuente: Manual del asfalto

Requisitos del agregado pétreo

Tabla 3.3: Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste de los ángeles, %	35
Partículas alargadas y lajeadas, % máximo	40
Equivalente de arena, % mínimo	50
Perdida de estabilidad por inmersión en agua, % máximo	25

Fuente: Características de los materiales

3.3 ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

3.3.1 Granulometría (ASTM C136 AASHTO T-27)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos, efectuándose la distribución porcentual de masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

Tabla 3.4: Granulometría agregados San José de Charaja

Peso total seco	3880,50 gr	2331,50 gr	715,70 gr	701,80 gr	Abertura
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena	Arena lavada Erika S.R.L.	Tamiz
Nº	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	mm
1"	100,00	100,00	100,00	100,00	25,40
$\frac{3}{4}$ "	94,93	100,00	100,00	100,00	19,10
$\frac{1}{2}$ "	39,04	100,00	100,00	100,00	12,70
$\frac{3}{8}$ "	14,80	98,71	100,00	100,00	9,50
Nº 4	1,24	17,68	98,80	100,00	4,75
Nº 8	0,46	0,81	82,70	83,10	2,36
Nº 16	0,44	0,66	51,96	56,28	1,18
Nº 40	0,40	0,60	35,00	34,53	0,43
Nº 80	0,36	0,57	24,13	16,37	0,18
Nº 200	0,32	0,51	18,56	2,47	0,08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5: Granulometría agregados Erika S.R.L.

Peso Total Seco	4619,90 gr	2010,70 gr	544,90 gr	Abertura
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena	Tamiz
Nº	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	mm
1"	100,00	100,00	100,00	25,40
¾"	96,90	100,00	100,00	19,10
½"	17,83	100,00	100,00	12,70
3/8"	2,89	100,00	100,00	9,50
Nº 4	0,57	19,76	99,41	4,75
Nº 8	0,53	0,59	83,83	2,36
Nº 16	0,50	0,37	63,61	1,18
Nº 40	0,48	0,33	35,44	0,43
Nº 80	0,46	0,32	25,22	0,18
Nº 200	0,42	0,27	13,51	0,08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6: Granulometría agregados La Posta Municipal

Peso Total Seco	3707,80 gr	2339,00 gr	839,60 gr	Abertura
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena	Tamiz
Nº	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	mm
1"	100,00	100,00	100,00	25,40
¾"	91,03	100,00	100,00	19,10
½"	25,77	100,00	100,00	12,70
3/8"	4,84	93,13	100,00	9,50
Nº 4	0,18	7,83	98,06	4,75
Nº 8	0,15	0,32	87,17	2,36
Nº 16	0,14	0,30	79,26	1,18
Nº 40	0,11	0,28	41,51	0,43
Nº 80	0,07	0,26	19,20	0,18
Nº 200	0,05	0,20	10,84	0,08

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3.2 Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM C127 AASHTO T-84)

Este ensayo tiene como objeto la determinación del peso específico aparente y el peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por medio de 24 horas a temperatura ambiente.

Tabla 3.7: Peso específico del agregado grueso San José de Charaja

Agregado: San José de Charaja	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Peso específico Bulk (gr/cm ³)	Peso específico Bulk S.S.S. (gr/cm ³)	Porcentaje de absorción (%)
Grava	2,67	2,62	2,64	0,92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8: Peso específico del agregado grueso Erika S.R.L.

Agregado: Erika S.R.L.	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Peso específico Bulk (gr/cm ³)	Peso específico Bulk S.S.S. (gr/cm ³)	Porcentaje de absorción (%)
Grava	2,66	2,59	2,62	1,39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9: Peso específico del agregado grueso La Posta Municipal

Agregado: La Posta Municipal	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Peso específico Bulk (gr/cm ³)	Peso específico Bulk S.S.S. (gr/cm ³)	Porcentaje de absorción (%)
Grava	2,68	2,57	2,63	2,08

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3.3 Determinación del peso específico y absorción del agregado fino (arena) (ASTM C128 AASTHO T84)

El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas

Tabla 3.10: Peso específico arena San José de Charaja

Agregado: San José de Charaja	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Peso específico Bulk (gr/cm ³)	Peso específico Bulk S.S.S. (gr/cm ³)	Porcentaje de absorción (%)
Arena	2,72	2,66	2,68	0,95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11: Peso específico arena Erika S.R.L.

Agregado: Erika S.R.L.	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Peso específico Bulk (gr/cm ³)	Peso específico Bulk S.S.S. (gr/cm ³)	Porcentaje de absorción (%)
Arena	2,74	2,66	2,69	1,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12: Peso específico arena La Posta Municipal

Agregado: La Posta Municipal	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Peso específico Bulk (gr/cm ³)	Peso específico Bulk S.S.S. (gr/cm ³)	Porcentaje de absorción (%)
Arena	2,66	2,61	2,63	0,65

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3.4 Determinación del peso unitario de los agregados (grava y gravilla) (AASHTO T19 C29)

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16 °C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente. Por ningún motivo se debe secar la muestra en el horno.

Tabla 3.13: Peso unitario grava, gravilla San José de Charaja

Agregado: San José de Charaja	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario varillado (gr/cm ³)	Peso unitario (gr/cm ³)
Grava	1,37	1,49	1,43
Gravilla	1,33	1,37	1,37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14: Peso unitario grava, gravilla Erika S.R.L.

Agregado: Erika S.R.L.	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario varillado (gr/cm ³)	Peso unitario (gr/cm ³)
Grava	1,34	1,49	1,41
Gravilla	1,41	1,58	1,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15: Peso unitario grava, gravilla La Posta Municipal

Agregado: La Posta Municipal	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario varillado (gr/cm ³)	Peso unitario (gr/cm ³)
Grava	1,43	1,58	1,50
Gravilla	1,36	1,52	1,44

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3.5 Determinación del peso unitario de los agregados finos (AASHTO T19 ASTM C29)

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16 °C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente. Por ningún motivo se debe secar la muestra en el horno.

Tabla 3.16: Peso unitario arena San José de Charaja

Agregado: San José de Charaja	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario varillado (gr/cm ³)	Peso unitario (gr/cm ³)
Arena	1,65	1,80	1,73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17: Peso unitario arena Erika S.R.L.

Agregado: Erika S.R.L.	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario varillado (gr/cm ³)	Peso unitario (gr/cm ³)
Arena	1,59	1,67	1,63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18: Peso unitario arena La Posta Municipal

Agregado: La Posta Municipal	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario varillado (gr/cm ³)	Peso unitario (gr/cm ³)
Arena	1,51	1,64	1,57

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3.6 Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM 131 AASHTO T96)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, mediante la máquina de los ángeles, con el fin de determinar su aplicabilidad en mezclas asfálticas, cuando son sometidos a los efectos del tráfico de vehículos.

Tabla 3.19: Desgaste de los ángeles agregado San José de Charaja

Agregado: San José de Charaja	Gradación	Peso inicial gr	Peso final gr	% de desgaste	Especificaciones ASTM
Grava	B	5000,00	3690,00	26,20	< 40 %
Gravilla	C	5000,00	3385,00	28,30	< 40 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.20: Desgaste de los ángeles agregado Erika S.R.L.

Agregado: Erika S.R.L.	Gradación	Peso inicial gr	Peso final gr	% de desgaste	Especificaciones ASTM
Grava	B	5000,00	3540,00	29,20	< 40 %
Gravilla	C	5000,00	3410,00	31,80	< 40 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21: Desgaste de los ángeles agregado La Posta Municipal

Agregado: La Posta Municipal	Gradación	Peso inicial gr	Peso final gr	% de desgaste	Especificaciones ASTM
Grava	B	5000,00	3330,00	33,40	< 40 %
Gravilla	C	5000,00	3285,00	34,30	< 40 %

Fuente: Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO I

3.3.7 Ensayo de durabilidad de los agregados usando sulfato de sodio (ASTM C88 AASHTO T104)

Este método de ensayo estima la capacidad de los agregados de disolver cuando están sujetos a las acciones climáticas en concretos y otras aplicaciones. Esto es conseguido por repetidas inmersiones en solución saturada de sulfato de sodio, seguidas por secado al horno hasta una deshidratación parcial o completa, en donde la sal se precipita en los espacios porosos permeables.

Tabla 3.22: Durabilidad de los agregados método de los sulfatos San José de Charaja

Agregado: San José de Charaja	% Pérdida de peso	% Pérdida total	Especificación ASTM
Grueso	0,44	2,62	Max. 12 %
Fino	2,18		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23: Durabilidad de los agregados método de los sulfatos, Erika S.R.L.

Agregado: Erika S.R.L.	% Pérdida de peso	% Pérdida total	Especificación ASTM
Grueso	0,68	2,81	Max. 12 %
Fino	2,13		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24: Durabilidad de los agregados método de los sulfatos, La Posta Municipal

Agregado: La Posta Municipal	% Pérdida de peso	% Pérdida total	Especificación ASTM
Grueso	0,72	3,47	Max. 12 %
Fino	2,75		

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3.8 Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL 358)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

Tabla 3.25: Caras fracturadas material 3/4" San José de Charaja

Caras fracturadas				
Peso de la muestra (gr)	Peso de caras fracturadas (gr)	Peso de caras sanas (gr)	% de caras fracturadas (gr)	Especificaciones mínimo (%)
1000	942,90	57,10	94,29	75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26: Caras fracturadas material 3/4" Erika S.R.L.

Caras fracturadas				
Peso de la muestra (gr.)	Peso de caras fracturadas (gr)	Peso de caras sanas (gr)	% de caras fracturadas (gr)	Especificaciones mínimo (%)
1000	875,00	125,00	87,50	75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27: Caras fracturadas material 3/4" La Posta Municipal

Caras fracturadas				
Peso de la muestra (gr.)	Peso de caras fracturadas (gr)	Peso de caras sanas (gr)	% de caras fracturadas (gr)	Especificaciones mínimo (%)
1000	795,70	204,30	79,57	75

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

Para el agregado 3/8" (gravilla) se repite el mismo procedimiento para el agregado de 3/4" (grava) donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3.28: Caras fracturadas material 3/8" San José de Charaja

Caras fracturadas				
Peso de la muestra (gr.)	Peso de caras fracturadas (gr)	Peso de caras sanas (gr)	% de caras fracturadas (gr)	Especificaciones mínimo (%)
500	476,30	23,70	95,26	75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29: Caras fracturadas material 3/8" Erika S.R.L.

Caras fracturadas				
Peso de la muestra (gr)	Peso de caras fracturadas (gr)	Peso de caras sanas (gr)	% de caras fracturadas (gr)	Especificaciones mínimo (%)
500	416,00	84,0 0	83,20	75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.30: Caras fracturadas material 3/8" La Posta Municipal

Caras fracturadas				
Peso de la muestra (gr)	Peso de caras fracturadas (gr)	Peso de caras sanas (gr)	% de caras fracturadas (gr)	Especificaciones mínimo (%)
500	396,40	103,60	79,28	75

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3.9 Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176-00)

Este método establece un procedimiento para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

Tabla 3.31: Equivalente de arena, San José de Charaja

Ensayo	Lecturas			Media %	Especificaciones
	1	2	3		
Lectura nivel superior	165,10	172,72	167,64	52,27	> 45
Lectura nivel inferior	86,36	88,90	88,90		
% de arena	52,31	51,47	53,03		

Tabla 3.32: Equivalente de arena, Erika S.R.L.

Ensayo	Lecturas			Media %	Especificaciones
	1	2	3		
Lectura nivel superior	142,24	139,70	142,24	50,90	> 45
Lectura nivel inferior	73,66	71,12	71,12		
% de arena	51,79	50,91	50,00		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.33: Equivalente de arena, La Posta Municipal

Ensayo	Lecturas			Media %	Especificaciones
	1	2	3		
Lectura nivel superior	154,94	152,40	157,48	54,64	> 45
Lectura nivel inferior	86,36	81,28	86,36		
% de arena	55,74	53,33	54,84		

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3.10 Límites de Atterberg (AASHTO T-89)

Límite líquido

Es un contenido de humedad (%) que presenta un suelo cuando a los 25 golpes del aparato de Casagrande, se cierra la abertura hecha con un ranurador que se encuentra normalizado.

Para este ensayo se utiliza una muestra seca que haya pasado por el tamiz N° 40 en una cantidad mínima de 100 gr.

Tabla 3.34: Límite líquido, San José de Charaja

N° Tara	Peso suelo húmedo + tara	Peso suelo seco + tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de humedad	N° de golpes
5	43,30	39,80	3,50	18,50	21,30	16,43	6
8	44,68	41,22	3,46	19,52	21,70	15,94	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.35: Límite líquido, Erika S.R.L.

N° Tara	Peso suelo húmedo + tara	Peso suelo seco + tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de humedad	N° de golpes
5	57,00	49,70	7,30	18,50	31,20	23,40	6
1	48,50	43,18	5,32	18,69	24,49	21,72	9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.36: Límite líquido, La Posta Municipal

N° Tara	Peso suelo húmedo + tara	Peso suelo seco + tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de humedad	N° de golpes
2	40,90	37,90	3,00	20,50	17,40	17,24	4
10	47,33	43,40	3,93	19,62	23,78	16,53	7

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.4 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

En este acápite se realizará la caracterización del cemento asfáltico 85/100 obtenido de la Posta Municipal perteneciente al Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de Tarija y de un cemento asfáltico 60/70 obtenido de la empresa Eurofinsa S.A. el cual están haciendo uso en el proyecto asfaltado Entre Ríos – Palos Blancos, para lo cual se fue a solicitar muestras a la comunidad de El Pajonal, ubicado en Entre Ríos de la provincia O'Connor.

Figura 3.8: Asfalto 85/100 La Posta Municipal



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9: Planta de producción El Pajonal



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10: Turriles con cemento asfáltico 60/70

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11: Recepción de muestras de C.A. 60/70

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Penetración (ASTM D 5 AASHTO T49 – 97)

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

Tabla 3.37: Ensayo de penetración C.A. 85/100

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio mm.	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Penetración 25 °C, 100 gr, 5 seg.	91,33	90,33	90,83	T-49	D-5	Min 85 Max 100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.38: Ensayo de penetración C.A. 60/70

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio mm.	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Penetración 25 °C, 100 gr, 5 seg.	67,00	68,67	67,83	T-49	D-5	Min 60 Max 70

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO II

3.4.2 Ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T 51-00)

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se elonga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta se tracciona.

Tabla 3.39: Ensayo de ductilidad C.A. 85/100

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Ductilidad 25 °C	128,67	128,67	128,67	T-51	D-113	> a 100 cm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.40: Ensayo de ductilidad C.A. 60/70

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Ductilidad 25 °C	140,33	140,30	140,33	T-51	D-113	> a 100 cm.

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO II

3.4.3 Punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310 AASHTO T 79)

El método define la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79 °C determinado por medio de este método de ensayo.

Tabla 3.41: Punto de inflamación C.A. 85/100

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Vaso abierto Cleveland, punto de inflamación °C	310,00	312,00	311,00	T-79	D-1310	> a 232 °C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.42: Punto de inflamación C.A. 60/70

Característica	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Vaso abierto Cleveland, punto de inflamación °C	330,00	322,00	326,00	T-79	D-1310	> a 232 °C

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO II

3.4.4 Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36 AASTHO T53-96)

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200 °C, por medio del aparato de anillo y bola.

Tabla 3.43: Punto de ablandamiento C.A. 85/100

Característica	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Detalle		Exigencias	
				AASHTO	ASTM	Mín.	Máx.
Punto de ablandamiento	43,50	44,00	43,75	T-53	D-36	43- 53	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44: Punto de ablandamiento C.A. 60/70

Característica	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Detalle		Exigencias	
				AASHTO	ASTM	Mín.	Máx.
Punto de ablandamiento	45,00	46,00	45,50	T-53	D-36	43- 53	

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO II

3.4.5 Peso específico (ASTM D-70 AASHTO T-228)

Este método cubre la determinación de la gravedad específica de materiales bituminosos semisólidos, cementos asfálticos, y los alquitranes suaves por uso de un picnómetro.

Tabla 3.45: Peso específico C.A. 85/100

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Peso específico a 25 °C	1,00	1,01	1,00	T-228	-	Min.1,00 Max.1,05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.46: Peso específico C.A. 60/70

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Peso Específico a 25 °C	1,00	1,00	1,00	T-228	-	Min. 1,00 Max. 1,05

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO II

3.4.6 Película delgada (ASTM D 1754 AASHTO T179-05)

Este método describe un ensayo para determinar el efecto del calor y aire sobre materiales asfálticos semisólidos.

Tabla 3.47: Película delgada C.A. 85/100

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Ensayo en horno de película delgada						
Penetración del Residuo, % de la penetración original	63,00	-	63,00	T-49	-	Min. 54
Pérdida por calentamiento %	0,10	-	0,10	T-240	-	Max. 0,8
Ductilidad del residuo, 25 °C, 5 cm/min.	123,33	-	123,33	T-51	-	Min. 100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.48: Película delgada C.A. 60/70

Característica	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Detalle		Exigencias
				AASHTO	ASTM	
Ensayo en horno de película delgada						
Penetración del Residuo, % de la penetración original	74,00	-	74,00	T-49	-	Min. 54
Pérdida por calentamiento %	0,13	-	0,13	T-240	-	Max. 0,8
Ductilidad del residuo, 25 °C, 5 cm/min.	133,67	-	133,67	T-51	-	Min. 100

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO II

Tabla 3.49: Resumen de resultados caracterización C.A. 85/100 y C.A. 60/70

Ensayo	Unid.	85/100	Esp.	60/70	Esp.	Método
Penetración a 25 °C, 100 gr, 5 seg.	mm.	90,83	Min. 85 Max. 100	67,83	Min. 60 Max. 70	AASHTO T49
Ductilidad 25 °C, 5 cm/min.	cm	128,67	Min. 100	140,33	Min. 100	AASHTO T51
Punto de inflamación	°C	311,00	Min. 232	326,00	Min. 232	AASHTO T48
Punto de ablandamiento	°C	43,75	Min. 43 Max. 53	45,50	Min. 43 Max. 53	AASHTO T53
Gravedad específica a 25 °C	gr/cm ³	1,00	Min. 1,00 Max. 1,05	1,00	Min. 1,00 Max. 1,05	AASHTO T228
Película Delgada						
Penetración del Residuo (%del original)	%	63,00	Min. 50	74,00	Min. 54	AASHTO T49
Pérdida por Calentamiento	%	0,10	Max. 1,00	0,13	Max. 1,00	AASHTO T51
Ductilidad del Residuo 25 °C, 5 cm/min	Cm	123,33	Min. 100	133,67	Min. 100	AASHTO T51

Fuente: Elaboración Propia

En ANEXO II se adjunta una fotocopia simple del certificado de calidad del cemento asfáltico 85/100 utilizado en los ensayos de la presente investigación, el cual es de procedencia chilena de la empresa PROBISA, esto con el fin de justificar resultados obtenidos en la práctica.

También se incluye una fotocopia de las especificaciones técnicas del cemento asfáltico 60/70, obtenido de la empresa Eurofinsa S.A. el cual también es de procedencia chilena de la empresa PROBISA.

3.5 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL

Realizadas las briquetas se llevaron éstas a la prensa Marshall para determinar: peso específico total, análisis de la densidad, contenido de vacíos de las briquetas, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall. Las briquetas fueron realizadas en el Laboratorio de Suelos, Asfaltos y Hormigones. S.A.H.

A continuación, se detalla el diseño de la mezcla asfáltica y el proceso del ensayo hasta la prensa Marshall:

- a) Se pesó las distintas fracciones de áridos establecidas en la dosificación Marshall.

Figura 3.12: Pesando los agregados para preparar la mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

- b) Se calientan los áridos y los moldes de las briquetas para así obtener una mezcla homogénea. Previo se hará calentar el cemento asfáltico para utilizar en la mezcla.

Figura 3.13: Agregado pesados calentando dentro del horno



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14: Moldes calentando antes del realizar los golpes



Fuente: Elaboración propia

- c) Estando ambos componentes calentados, se transfiere el árido pesado a un cuenco para el mezclado, formando un cráter en el medio para añadir el ligante asfáltico. Con la ayuda de una cuchara se procede a mezclar bien asegurando un buen recubrimiento de los áridos.

Figura 3.15: Agregando ligante asfáltico a la muestra de árido calentada y pesada



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16: Árido con ligante asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17: Proceso de mezclado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18: Mezcla antes de ser vaciada a los moldes



Fuente: Elaboración propia

- d) Una vez lograda una mezcla homogénea, se procede a vaciar ésta dentro del molde cilíndrico, con la ayuda de una espátula se acomoda las partículas esparciendo bien la mezcla y se protege con un papel a modo de evitar que el material se aglutine en el compactador y en la base.

Figura 3.19: Molde cilíndrico con papel en la base



Fuente: Elaboración propia

e) Posteriormente se realiza la compactación de 75 golpes por cara.

Figura 3.20: Compactación con martillo con 75 golpes por cara.



Fuente: Elaboración propia

f) Finalizada la compactación de la briqueta, se debe esperar un tiempo mínimo de 2 horas antes de desmoldarla, cuyo proceso se realiza por medio de un extractor. Una vez extraída la briqueta, se las marca con el tipo de árido y el ligante que se utilizó.

Figura 3.21: Desmoldado de briquetas después de un reposo



Fuente: Elaboración propia

3.6 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Una vez desmoldadas las briquetas se debe determinar algunos datos relevantes para esta investigación, como ser la altura, densidad de cada briqueta. Con una espátula retirar los

bordes de ambas caras esto para tener una buena lectura de las alturas, con la ayuda de un vernier se mide la altura “h” a cada briqueta en 4 puntos equidistantes y se obtiene la media.

Figura 3.22: Midiendo alturas a briquetas



Fuente: Elaboración propia

Luego de sacar las alturas a las briquetas, se obtiene su peso en una balanza de brazo con una precisión de 0,1 gr.

Figura 3.23: Pesando las briquetas



Fuente: Elaboración propia

Teniendo los pesos registrados, sometemos a las briquetas a un recipiente con agua a 25 °C durante 10 minutos, con el objetivo de sacar los vacíos de aire.

Figura 3.24: Briquetas sumergidas en agua a 25 °C.



Fuente: Elaboración propia

Transcurrido los 10 minutos se saca las briquetas del recipiente para ser pesadas en condición peso sumergido y en condición peso saturado superficie seca, para luego ser introducidas a un baño maría en agua a 60 °C durante media hora. Posterior a ello se las llevó a la prensa Marshall para ser procesadas.

Figura 3.25: Briquetas pesadas sumergidas en agua a 25 °C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26: Briquetas pesadas condición saturada superficie seca



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.27: Colocado de briquetas en la mordaza Marshall



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.28: Lectura del dial de estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de deformación para el flujo.



Fuente: Elaboración propia

3.7 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE MARSHALL CON C.A. 60/70

El desarrollo del cálculo se verá más adelante en el Anexo III

3.8 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE MARSHALL CON C.A. 85/100

El desarrollo del cálculo se verá más adelante en el Anexo III

3.9 DISEÑO ÓPTIMO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MARSHALL CON C.A. 60/70

3.9.1 Diseño óptimo San José de Charaja 60/70

Tabla 3.50: Dosificación óptima diseño Marshall C.A. 60/70

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,75	2,34	---	---
% Vacíos	5,75	4,02	3	5
R.B.V.	5,75	77,00	75	82
V.A.M.	5,75	17,43		
Estabilidad (Lb)	5,75	2884	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100''	5,75	12,00	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,75	

Fuente: Elaboración propia

3.9.2 Diseño óptimo Erika S.R.L. 60/70

Tabla 3.51: Dosificación óptima diseño Marshall C.A. 60/70

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,71	2,35	---	---
% Vacíos	5,71	4,10	3	5
R.B.V.	5,71	76,50	75	82
V.A.M.	5,71	17,36		
Estabilidad (Lb)	5,71	2748	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100''	5,71	12,75	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,71	

Fuente: Elaboración propia

3.10 DISEÑO ÓPTIMO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MARSHALL 85/100

3.10.1 Diseño óptimo San José de Charaja 85/100

Tabla 3.52: Dosificación óptima diseño Marshall C.A. 85/100

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,72	2,36	---	---
% Vacíos	5,72	3,60	3	5
R.B.V.	5,72	78,84	75	82
V.A.M.	5,72	16,85		
Estabilidad (Lb)	5,72	2722	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,72	12,65	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,72	

Fuente: Elaboración propia

3.10.2 Diseño óptimo Erika S.R.L. 85/100

Tabla 3.53: Dosificación óptima diseño Marshall C.A. 85/100

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,59	2,35	---	---
% Vacíos	5,59	3,96	3	5
R.B.V.	5,59	76,76	75	82
V.A.M.	5,59	17,04		
Estabilidad (Lb)	5,59	2452	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,59	13,12	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,59	

Fuente: Elaboración propia

3.11 ELABORACIÓN DE BRIQUETAS MARSHALL CON CONTENIDO ÓPTIMO DE C. A.

3.11.1 Diseño Marshall briquetas húmedas

Conociendo ya el valor del contenido óptimo de cemento asfáltico para cada diseño se procede a realizar las briquetas para ser sometidas a un proceso del cual adquieran humedad, esto se logró con la ayuda de aserrín mezclado con agua, esta mezcla se lo mete a una bolsa de nailon y se introduce las briquetas en ella, para que adquiera humedad. El porcentaje de humedad se midió con un instrumento de medición de temperatura y humedad, los porcentajes analizados fueron 20 % - 40 % - 60 % - 80 % y 100 %. Se realizó 15 briquetas por diseño, de las cuales 3 por cada porcentaje.

Una vez adquirida la humedad, se procedió a romper las briquetas en la prensa Marshall, para luego hacer sus gráficas de acuerdo a los porcentajes de humedad

Figura 3.29: Midiendo el % de humedad de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.30: Instrumento de medición de temperatura y humedad



Fuente: Elaboración propia

3.11.2 Diseño Marshall briquetas secas

Para la confección de briquetas secas, se realizó el diseño normal para determinar su contenido óptimo de cemento asfáltico. Luego con el valor obtenido se realizaron 15 briquetas 3 para cada porcentaje, los cuales fueron 20 % - 40 % - 60 % - 80 % y 100 % de humedad, siendo estas sometidas a un secado en horno regulando su temperatura.

Una vez estando secas, se procedió a romper las briquetas en la prensa Marshall, para luego hacer sus gráficas de acuerdo a los porcentajes de cada briqueta.

Figura 3.31: Grupo de probetas estudiadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.32: Probetas sometidas a calor para bajar la humedad



Fuente: Elaboración propia

3.12 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.12.1 Caracterización de los agregados

A continuación se presentan los resultados y análisis de los ensayos realizados tanto para el cemento asfáltico como para las mezclas asfálticas (briquetas). Todos los ensayos se realizaron de acuerdo al Manual de Carreteras V4A.

Se realizó la caracterización para los tres tipos de agregados, para el agregado de San José de Charaja, la arena nos da un alto porcentaje de filler (18 %) haciendo que no esté dentro de los límites establecidos (10 % - 15 %), para lo cual se hará una compensación con arena lavada de Erika S.R.L., haciendo que la granulometría esté dentro de la faja establecida por la norma ABC “Mantenimiento periódico de carreteras de Bolivia”.

Para los agregados de Erika S.R.L. los resultados cumplen con todas las especificaciones establecidas, no teniendo inconvenientes con este material.

El agregado de La Posta Municipal la arena tiene un origen natural, no es triturada y es muy liviana, haciendo que para el diseño Marshall no cumpla con las condiciones establecidas.

3.12.2 Análisis y resultados de los ensayos del C.A. 85/100 y C.A. 60/70

Tabla 3.54: Resultados de caracterización C.A. 85/100 y 60/70

Ensayo	Unid.	85/100	Esp.	60/70	Esp.	Método
Penetración a 25 °C, 100 gr, 5 seg.	mm.	90,83	Mín. 85 Máx. 100	67,83	Mín. 60 Máx. 70	AASHTO T49
Ductilidad 25 °C, 5 cm/min.	cm	128,67	Mín. 100	140,33	Mín. 100	AASHTO T51
Punto de inflamación	°C	311,00	Mín. 232	326,00	Mín. 232	AASHTO T48
Punto de ablandamiento	°C	43,75	Mín. 43 Máx. 53	45,50	Mín. 43 Máx. 53	AASHTO T53
Gravedad específica a 25 °C	gr/cm ³	1,00	Mín. 1,00 Máx. 1,05	1,00	Mín. 1,00 Máx. 1,05	AASHTO T228
Película delgada						
Penetración del residuo (% del original)	%	63,00	Mín. 50	74,00	Mín. 54	AASHTO T49
Pérdida por calentamiento	%	0,10	Máx. 1,00	0,13	Máx. 1,00	AASHTO T51
Ductilidad del residuo 25 °C, 5 cm/min	cm	123,33	Mín. 100	133,67	Mín. 100	AASHTO T51

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizados los ensayos de caracterización del cemento asfáltico 85/100 y 60/70 se tiene los resultados mostrados en la Tabla 3.54.

La penetración del cemento asfáltico 85/100 es de 91 mm. siendo el promedio de dos ensayos. Y la penetración del cemento asfáltico 60/70 es de 68 mm. cumpliendo ambos ligantes con las especificaciones técnicas exigidas para garantizar la calidad del cemento asfáltico.

Observando los resultados de los ensayos de ductilidad, el mismo que se realiza para conocer la consistencia de los cementos asfálticos es decir, el grado de fluidez que tiene un asfalto a una determinada temperatura, se puede decir que también se encuentra dentro del rango de aceptabilidad como se puede observar en la Tabla 3.53 es de 129 cm para el cemento asfáltico 85/100 y de 140 cm para el cemento asfáltico 60/70, según las especificaciones técnicas para ambos ligantes deben superar los 100 cm.

El punto de inflamación para el cemento asfáltico 85/100 es de 311 °C, y de 326 °C para el cemento asfáltico 60/70 es decir, es la temperatura a la cual el cemento asfáltico utilizado para los ensayos puede ser calentado sin presentar peligro de incendio en presencia de una chispa, siendo para ambos ligantes 232 °C la temperatura mínima aceptada.

Como se conoce los cementos asfálticos son termoplásticos, que a presencia de altas temperaturas cambia su estado de sólido a líquido y en uno de los ensayos que se observa este fenómeno es en el punto de ablandamiento que es la temperatura a la cual el cemento asfáltico no puede soportar la carga de una bola de acero y comienza a fluir, teniendo como resultados 44 °C para el cemento asfáltico 85/100 y 46 °C para el cemento asfáltico 60/70, cumpliendo con lo que dice las especificaciones que debe tener como mínimo 43 °C y como máximo 53 °C ambos ligantes.

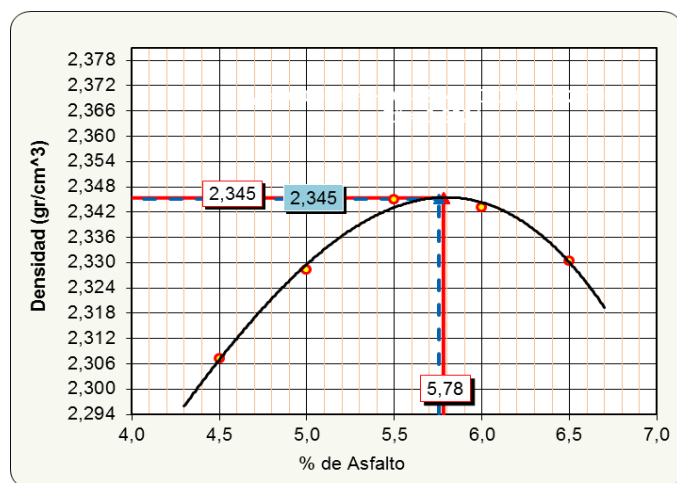
El peso específico para el cemento asfáltico 85/100 es de 1,00 gr/cm³ y para el cemento asfáltico 60/70 es de 1,00 gr/cm³ estando los resultados dentro de los valores establecidos los cuales son Mín. 1,00 Máx. 1,05 gr/cm³ para ambos ligantes.

El ensayo de película delgada, se hizo con la finalidad de simular en el laboratorio las condiciones que producen un aumento de la consistencia del cemento asfáltico durante las operaciones de mezclado en planta y colocado en obra, lo que significa poder medir el envejecimiento del cemento asfáltico durante estas operaciones y apreciar la pérdida por calentamiento que se da en este ensayo, como se puede ver el cemento asfáltico 85/100 tiene una penetración de 63 % con respecto a la penetración original, siendo como mínimo 50 %, para el cemento asfáltico 60/70 tiene una penetración de 74 % con respecto a la penetración original, siendo como mínimo 54 %. En la pérdida por calentamiento el cemento asfáltico 85/100 presenta una pérdida de 0,10 %, teniendo como máximo establecido 1,00 %, el cemento asfáltico 60/70 presenta una pérdida por calentamiento de 0,13 %, teniendo como máximo una pérdida de 1,00 %. Para la ductilidad después de haber realizado el ensayo nos da un valor de 123 cm para el asfalto 85/100 y 134 cm para el cemento asfáltico 60/70, teniendo ambos una mínima de 100 cm.

3.12.3 Diseño Marshall para determinar el contenido óptimo de C.A. 60/70

3.12.3.1 Resultados diseño Marshall San José de Charaja

Gráfica 3.1: Densidad Vs % de asfalto

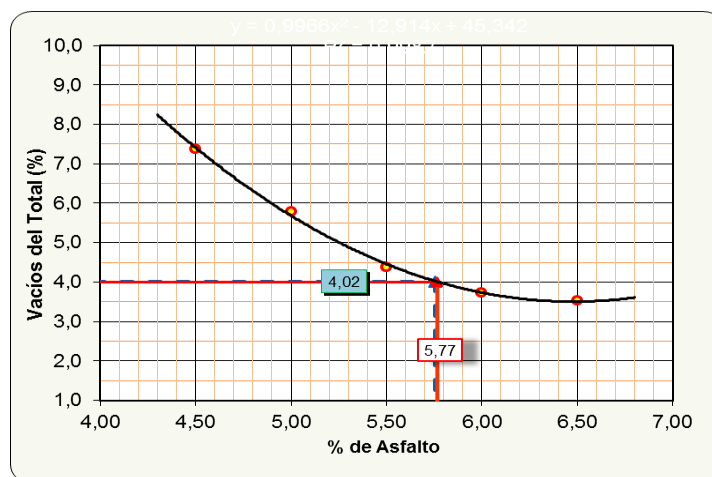


Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos de la densidad se procede a graficar la curva densidad Vs. % de asfalto, obteniéndose la gráfica 3.1, en donde se puede observar que es directamente proporcional es decir, que a mayor % de asfalto, mayor será su densidad. Encontramos

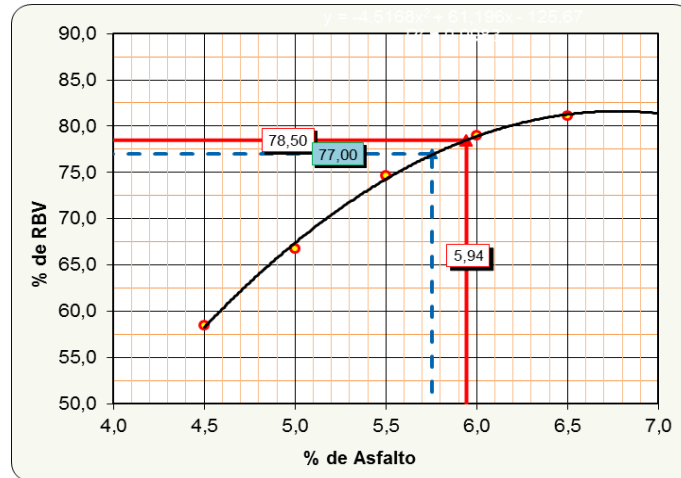
el punto más alto de la densidad y trazamos líneas horizontales y verticales, para determinar la densidad a ese porcentaje de asfalto, siendo $2,34 \text{ gr/cm}^3$ su densidad a $5,78$ % de asfalto respectivamente.

Gráfica 3.2: % de Vacíos Vs. % de asfalto



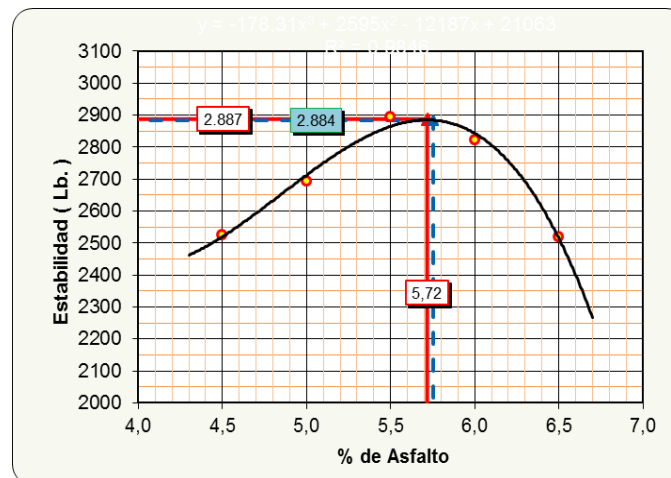
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 3.2 se observa que el porcentaje de vacíos es inversamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, a mayor porcentaje de asfalto menor porcentaje de vacíos, a menor porcentaje de asfalto mayor porcentaje de vacíos. Las especificaciones indican que una mezcla debe tener entre 3-5 % de vacíos, entonces se saca un promedio de ese rango de 3-5 dando un valor medio de 4, con ese valor ingresamos a la gráfica haciendo una línea horizontal hasta donde choque con la gráfica, luego en el punto de choque hacemos una línea vertical hacia abajo para encontrar el porcentaje de asfalto, dando un valor de $5,77$ % de asfalto.

Gráfica 3.3: Relación betún-vacíos Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

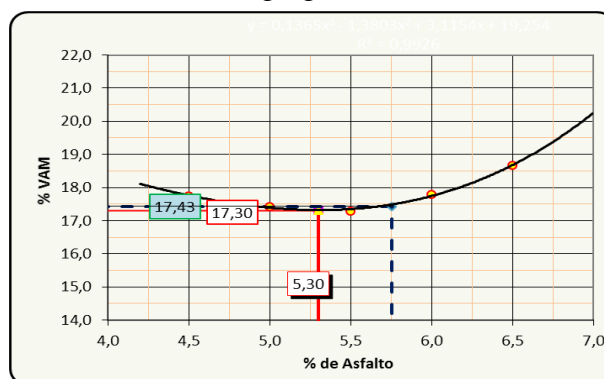
La gráfica 3.3 el porcentaje de RBV es directamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, que a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el porcentaje de RBV. Las especificaciones indican que para el porcentaje de RVB deben estar comprendidos entre 75-82, entonces se saca el valor medio que sería 78,50 y se traza una línea horizontal hasta que choque con la curva, luego se baja una línea vertical hacia abajo para determinar el porcentaje de asfalto en ese punto medio, que sería de 5,94 % de asfalto como indica la gráfica.

Gráfica 3.4: Estabilidad Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

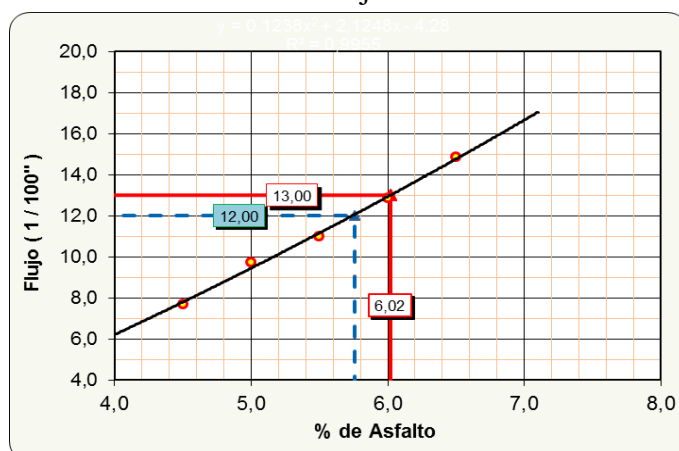
En la gráfica 3.4 se observa que la estabilidad crece a medida que el porcentaje de asfalto aumenta es decir, que a mayor porcentaje de asfalto mayor será la estabilidad, hasta llegar al valor óptimo de porcentaje de asfalto, donde vuelve a decrecer. Para determinar el porcentaje de asfalto, encontramos el punto más alto de la estabilidad y trazamos líneas horizontales y verticales. En donde a una estabilidad de 2887 Lb se tiene un 5,72 % de asfalto.

Gráfica 3.5: Vacíos del agregado mineral Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.5 de vacíos del agregado mineral se observa como disminuye a medida que se va aumentado el porcentaje asfalto, y luego otra vez sube. En esta gráfica se toma en cuenta el punto más bajo de vacíos, y se traza líneas horizontales y verticales para encontrar el porcentaje de asfalto a ese punto más bajo de vacíos de agregado mineral. Determinándose un 5,30 % de asfalto para un 17,30 % de vacíos de agregado mineral.

Gráfica 3.6: Flujo Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.6 se observa que la fluencia es proporcional al porcentaje de asfalto, a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el flujo. Para poder determinar el valor del porcentaje de asfalto se debe sacar el valor medio del rango establecido, el cual es de 8-18, teniendo como valor medio 13,00 con ese valor se determina el porcentaje de asfalto, dando un resultado de 6,02 % de asfalto.

Una vez analizadas las seis gráficas, se procede a registrarlas en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 3.55: Resultados diseño Marshall San José de Charaja 60/70

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,78	2,34	---	---
% Vacíos	5,77	4,00	3	5
R.B.V.	5,94	78,50	75	82
V.A.M.	5,30	17,30		
Estabilidad (Lb)	5,72	2887	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100''	6,02	13,00	8	18
Promedio	5,75	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas (densidad, Vv, R.V.B., V.A.M. y estabilidad)		

Fuente: Elaboración propia

Con todos los porcentajes de asfalto obtenidos de la tabla 3.55 se procede a sacar su valor promedio, dando como resultado 5,75 % de asfalto. Lo cual significa que ese es el porcentaje óptimo para la mezcla.

Tabla 3.56: Resultado diseño Marshall óptimo San José de Charaja 60/70

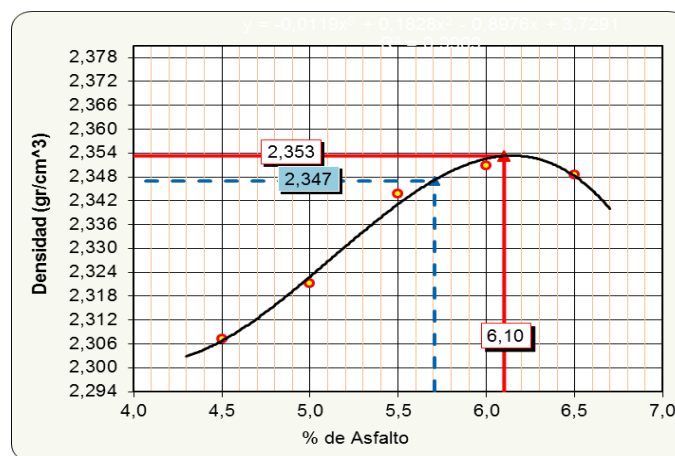
Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,75	2,34	---	---
% Vacíos	5,75	4,02	3	5
R.B.V.	5,75	77,00	75	82
V.A.M.	5,75	17,43		
Estabilidad (Lb)	5,75	2884	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,75	12,00	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,75	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.56 con el valor óptimo se determinó los valores de las características de la mezcla, dando buenos resultados que están dentro de los rangos de las especificaciones. Estos se los pudo encontrar analizando de manera inversa a lo explicado anteriormente, en cada gráfica se entró con el valor de 5,75 % de asfalto, para poder determinar los valores de las características de la mezcla.

3.12.3.2 Resultados diseño Marshall Erika S.R.L.

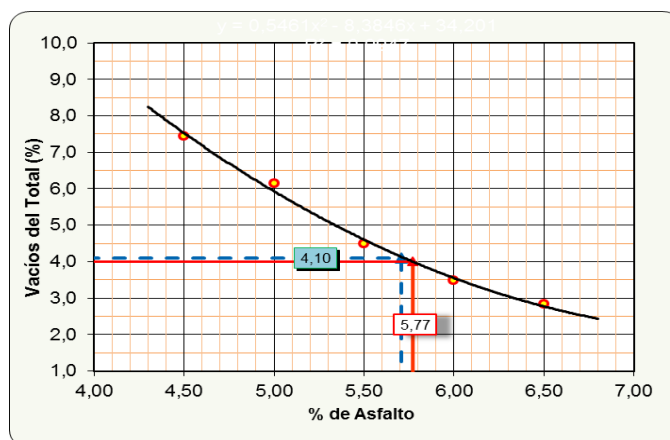
Gráfica 3.7: Densidad Vs % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

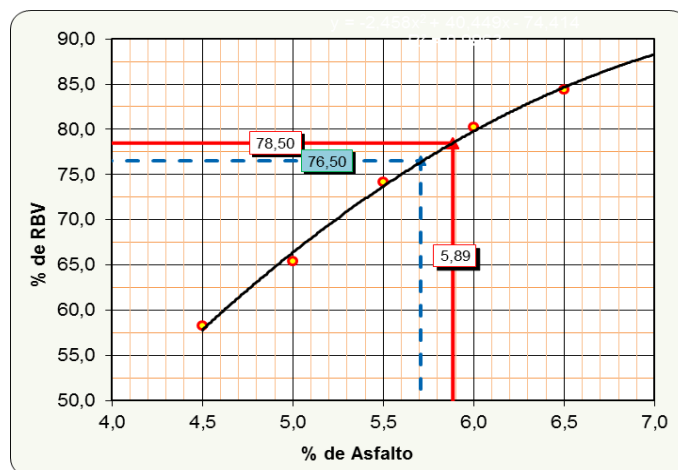
Con los datos obtenidos de la densidad se procede a graficar la curva densidad Vs. % de asfalto, obteniéndose la gráfica 3.7, donde se puede observar que es directamente proporcional es decir, que a mayor % de asfalto, mayor será su densidad. Encontramos el punto más alto de la densidad y trazamos líneas horizontales y verticales, para determinar la densidad a ese porcentaje de asfalto, con el punto más alto obtenemos una densidad de $2,35 \text{ gr/cm}^3$ y $6,10 \%$ de asfalto respectivamente.

Gráfica 3.8: % De vacíos Vs. % de asfalto



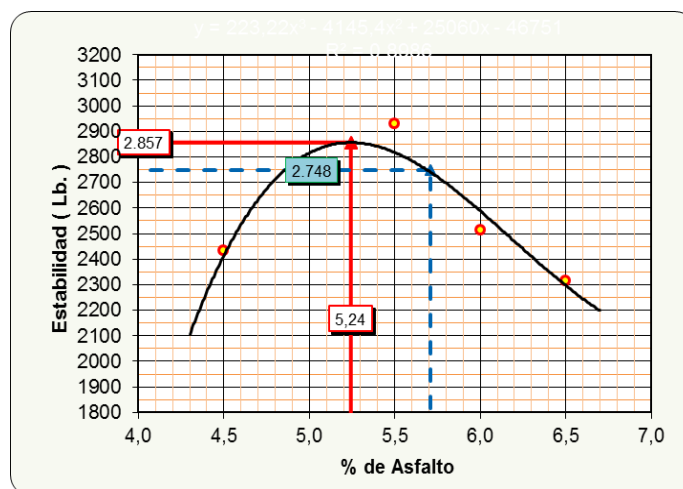
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 3.8 se observa que el porcentaje de vacíos es inversamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, a mayor porcentaje de asfalto menor porcentaje de vacíos, a menor porcentaje de asfalto mayor porcentaje de vacíos. Las especificaciones indican que una mezcla debe tener entre 3-5 % de vacíos, entonces se saca un promedio de ese rango de 3-5 dando un valor medio de 4,00 con ese valor ingresamos a la gráfica haciendo una línea horizontal hasta donde choque con la gráfica, luego en el punto de choque hacemos una línea vertical hacia abajo para encontrar el porcentaje de asfalto, dando un valor de $5,77 \%$ de asfalto.

Gráfica 3.9: Relación betún-vacíos Vs. % de Asfalto

Fuente: Elaboración propia

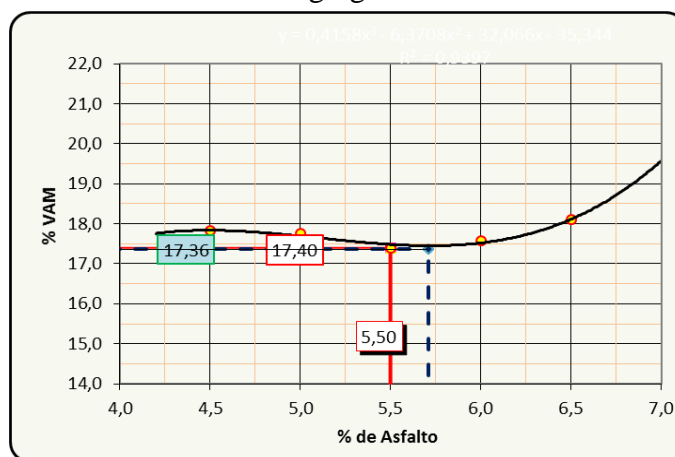
La gráfica 3.9 el porcentaje de RBV es directamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, que a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el porcentaje de RBV. Las especificaciones indican que para el porcentaje de RBV deben estar comprendidos entre 75-82, entonces se saca el valor medio que sería 78,50 y se traza una línea horizontal hasta que choque con la curva, luego se baja una línea vertical hacia abajo para determinar el porcentaje de asfalto en ese punto medio, que sería de 5,89 % de asfalto como indica la gráfica.

Gráfica 3.10: Estabilidad Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

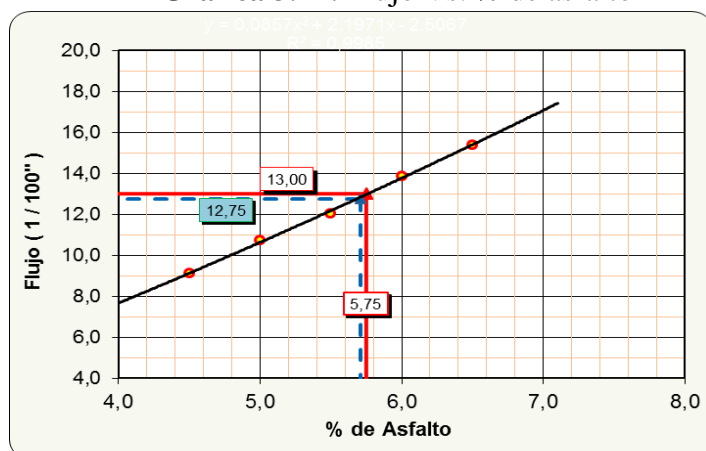
En la gráfica 3.10 se observa que la estabilidad crece a medida que el porcentaje de asfalto aumenta es decir, que a mayor porcentaje de asfalto mayor será la estabilidad, hasta llegar al valor óptimo de porcentaje de asfalto, donde vuelve a decrecer. Para determinar el porcentaje de asfalto, encontramos el punto más alto de la estabilidad y trazamos líneas horizontales y verticales. Donde la máxima estabilidad es de 2857 Lb a 5,24 % de asfalto.

Gráfica 3.11: Vacíos del agregado mineral Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.11 de Vacíos del Agregado Mineral se observa como disminuye a medida que se va aumentado el porcentaje asfalto, y luego otra vez sube. En esta gráfica se toma en cuenta el punto más bajo de vacíos, y se traza líneas horizontales y verticales para encontrar el porcentaje de asfalto a ese punto más bajo de vacíos de agregado mineral. Determinándose un 5,50 % de asfalto para un 17,40 % de vacíos de agregado mineral.

Gráfica 3.12: Flujo Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.12 se observa que la fluencia es proporcional al porcentaje de asfalto, a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el flujo. Para determinar el valor del porcentaje de asfalto se debe sacar el valor medio del rango establecido, el cual es de 8-18, teniendo como valor medio 13,00 con ese valor se determina el porcentaje de asfalto, dando un resultado de 5,75 % de asfalto. Una vez analizadas las seis gráficas, se procede a registrarlas en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 3.57: Resultados diseño Marshall Erika S.R.L. 60/70

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,10	2,35	---	---
% Vacíos	5,77	4,00	3	5
R.B.V.	5,89	78,50	75	82
V.A.M.	5,50	17,40		
Estabilidad (Lb)	5,24	2857,1	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,75	13,0	8	18
Promedio	5,71	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas (densidad, Vv, R.V.B., V.A.M. y estabilidad)		

Fuente: Elaboración propia

Con todos los porcentajes de asfalto obtenidos de la tabla 3.57 se procede a sacar su valor promedio, dando como resultado 5,71 % de asfalto. Lo cual significa que ese es el porcentaje óptimo para la mezcla.

Tabla 3.58: Resultado diseño Marshall óptimo Erika S.R.L. 60/70

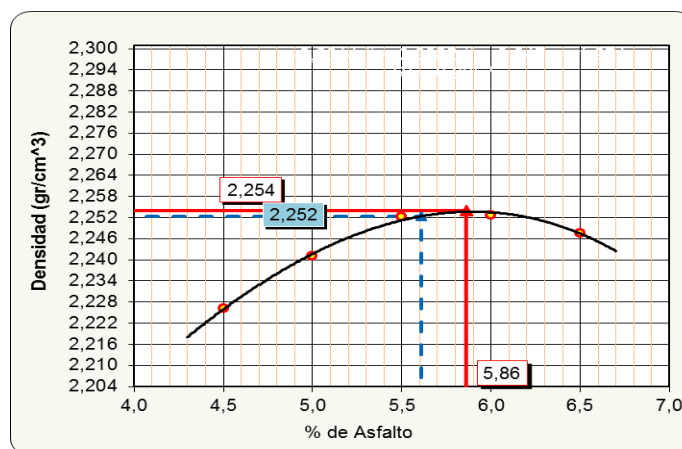
Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,71	2,35	---	---
% Vacíos	5,71	4,10	3	5
R.B.V.	5,71	76,50	75	82
V.A.M.	5,71	17,36		
Estabilidad (Lb)	5,71	2748	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,71	12,75	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,71	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.58 con el valor óptimo se determinó los valores de las características de la mezcla, dando buenos resultados que están dentro de los rangos de las especificaciones. Estos se los pudo encontrar analizando de manera inversa a lo explicado anteriormente, en cada gráfica se entró con el valor de 5,71 % de asfalto, para poder determinar los valores de las características de la mezcla.

3.12.3.3 Resultados diseño Marshall La Posta Municipal

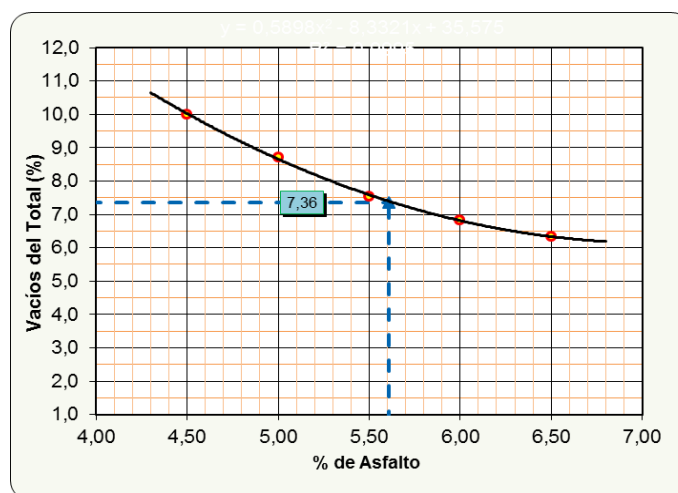
Gráfica 3.13: Densidad Vs % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

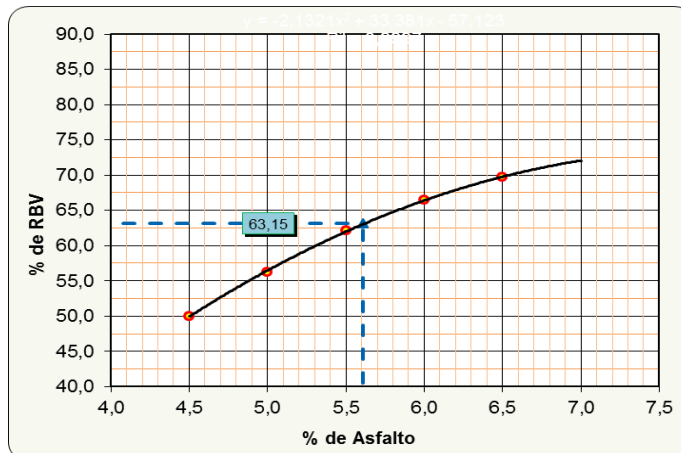
Con los datos obtenidos de la densidad se procede a graficar la curva densidad Vs. % de asfalto, obteniéndose la gráfica 3.13, donde se puede observar que es directamente proporcional es decir, que a mayor % de asfalto, mayor será su densidad. Encontramos el punto más alto de la densidad y trazamos líneas horizontales y verticales, para determinar la densidad a ese porcentaje de asfalto, con el punto más alto obtenemos una densidad de $2,35 \text{ gr/cm}^3$ y $5,86 \%$ de asfalto respectivamente.

Gráfica 3.14: % De vacíos Vs. % de asfalto



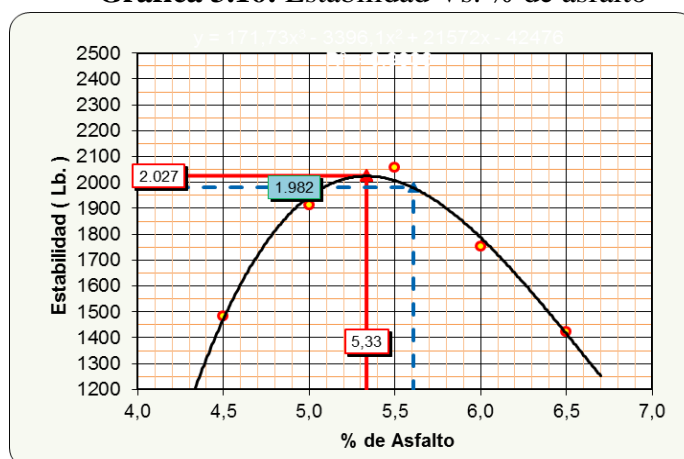
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 3.14 se observa que el porcentaje de vacíos es inversamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, a mayor porcentaje de asfalto menor porcentaje de vacíos, a menor porcentaje de asfalto mayor porcentaje de vacíos. Las especificaciones indican que una mezcla debe tener entre 3-5 % de vacíos, entonces se saca un promedio de ese rango de 3-5 dando un valor medio de 4,00 el cual no se puede determinar porque la curva de la gráfica se encuentra más arriba del valor promedio, lo cual no cumple no pudiéndose encontrar un valor para el porcentaje de asfalto.

Gráfica 3.15: Relación betún-vacíos Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3.15 el porcentaje de RBV es directamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, que a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el porcentaje de RBV. Las especificaciones indican que para el porcentaje de RVB deben estar comprendidos entre 75-82, entonces se saca el valor medio que sería 78,50 lo cual no se puede determinar el valor del % de asfalto, porque la curva de la gráfica se encuentra más abajo del valor promedio.

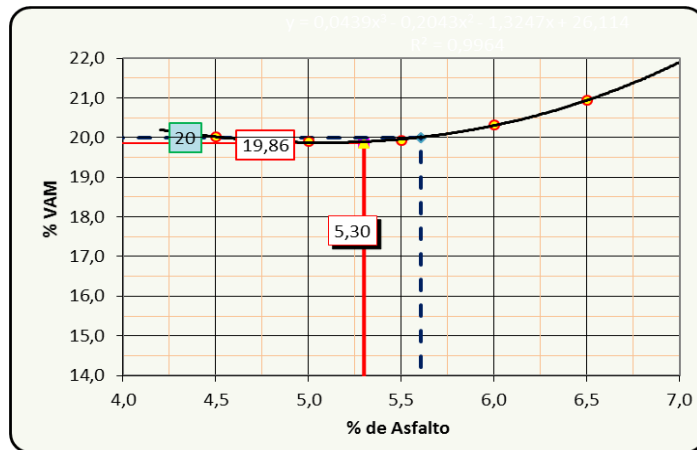
Gráfica 3.16: Estabilidad Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.16 se observa que la estabilidad crece a medida que el porcentaje de asfalto aumenta es decir, que a mayor porcentaje de asfalto mayor será la estabilidad,

hasta llegar al valor óptimo de porcentaje de asfalto, donde vuelve a decrecer. Para determinar el porcentaje de asfalto, encontramos el punto más alto de la estabilidad y trazamos líneas horizontales y verticales. Donde la máxima estabilidad es de 2026,60 Lb a 5,33 % de asfalto.

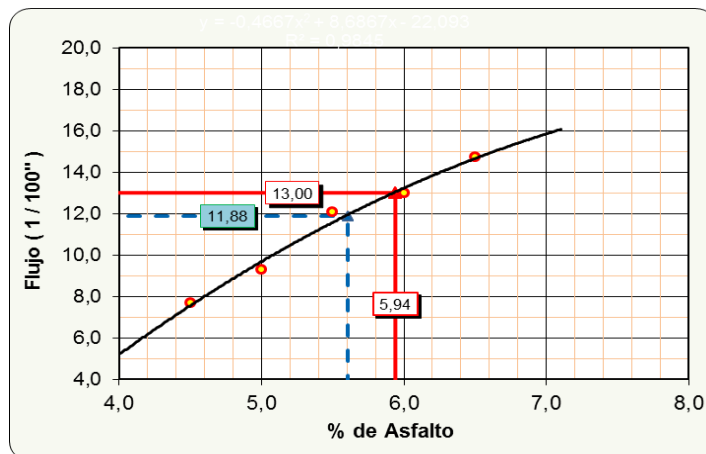
Gráfica 3.17: Vacíos del agregado mineral Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.17 de vacíos del agregado mineral se observa como disminuye a medida que se va aumentando el porcentaje asfalto, y luego otra vez sube. En esta gráfica se toma en cuenta el punto más bajo de vacíos, y se traza líneas horizontales y verticales para encontrar el porcentaje de asfalto a ese punto más bajo de vacíos de agregado mineral. El punto más bajo fue 19,86 %, y por consiguiente el porcentaje de asfalto fue de 5,30 %

Gráfica 3.18: Flujo Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.18 se observa que la fluencia es proporcional al porcentaje de asfalto, a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el flujo. Para determinar el valor del porcentaje de asfalto se debe sacar el valor medio del rango establecido, el cual es de 8-18, teniendo como valor medio 13,00 con ese valor se determina el porcentaje de asfalto, dando un resultado de 5,94 % de asfalto.

Una vez analizadas las seis gráficas, se procede a registrarlas en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 3.59: Resultados diseño Marshall La Posta Municipal 60/70

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,86	2,25	---	---
% Vacíos			3	5
R.B.V.			75	82
V.A.M.	5,30	19,90		
Estabilidad (Lb)	5,33	2026,60	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,94	13,00	8	18
Promedio	5,61	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas (densidad, V.A.M., estabilidad y fluencia)		

Fuente: Elaboración propia

Con todos los porcentajes de asfalto obtenidos de la tabla 3.59 se procede a sacar su valor promedio, teniendo sólo valores para la densidad, V.A.M., estabilidad y fluencia. Con esos 4 valores se saca promedio para determinar el contenido óptimo de asfalto, dando como resultado 5,61 %

Tabla 3.60: Resultado diseño Marshall optimo La Posta Municipal 60/70

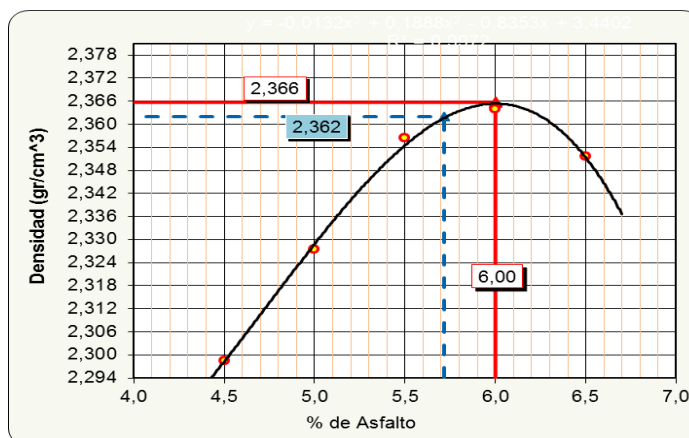
Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,61	2,25	---	---
% Vacíos	5,61	7,36	3	5
R.B.V.	5,61	63,15	75	82
V.A.M.	5,61	20,00		
Estabilidad (Lb)	5,61	1982	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,61	11,88	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,61	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.60 con el valor óptimo se determinó los valores de las características de la mezcla, dando resultados que no están dentro del rango de las especificaciones técnicas. Teniendo un porcentaje de vacíos superior al establecido, esto causara que la mezcla sea porosa, afectando de manera directa a la estabilidad y permitiendo el fácil acceso del agua, efectuándose posteriores daños por humedad.

3.12.4 Diseño Marshall para determinar el contenido óptimo de C.A. 85/100

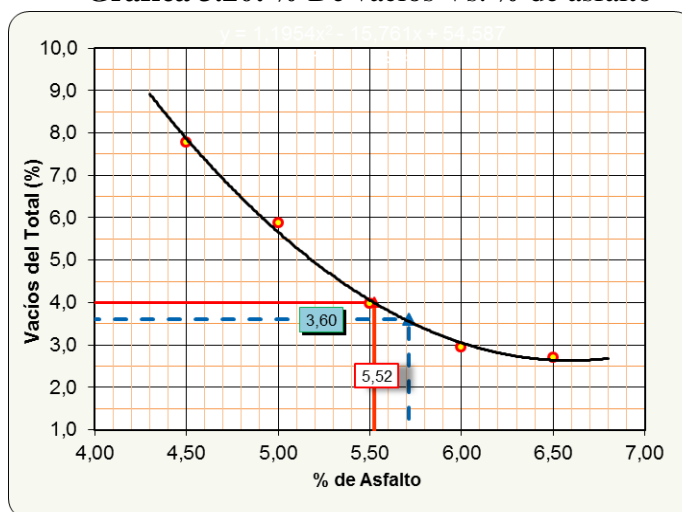
3.12.4.1 Resultados diseño Marshall San José de Charaja

Gráfica 3.19: Densidad Vs % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

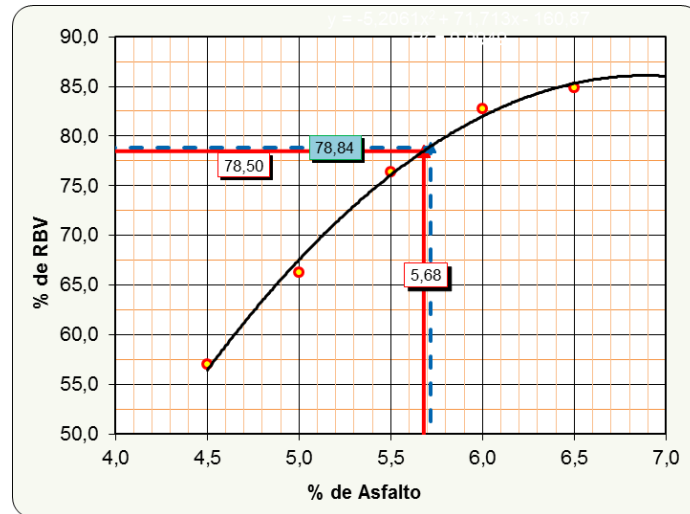
Con los datos obtenidos de la densidad se procede a graficar la curva densidad Vs. % de asfalto, obteniéndose la gráfica 3.19 donde se puede observar que es directamente proporcional es decir, que a mayor % de asfalto, mayor será su densidad. Encontramos el punto más alto de la densidad y trazamos líneas horizontales y verticales, para determinar la densidad a ese porcentaje de asfalto, siendo 2,36 gr/cm³ su densidad a 6,00 % de asfalto respectivamente.

Gráfica 3.20: % De vacíos Vs. % de asfalto



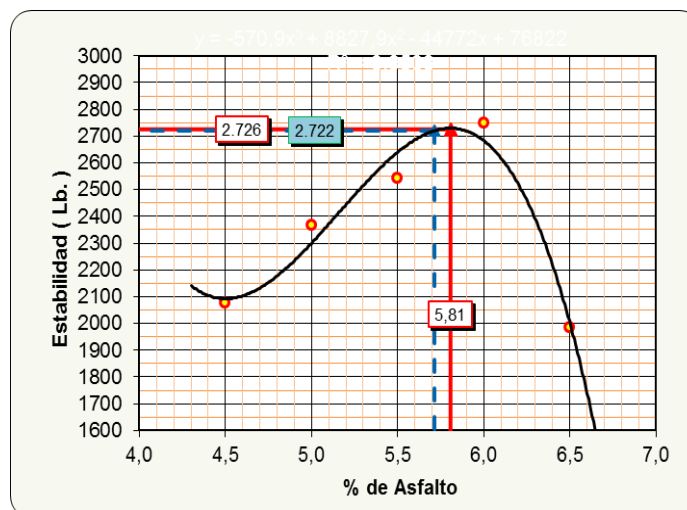
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 3.20 se observa que el porcentaje de vacíos es inversamente proporcional al porcentaje de asfalto, es decir a mayor porcentaje de asfalto menor porcentaje de vacíos, a menor porcentaje de asfalto mayor porcentaje de vacíos. Las especificaciones indican que una mezcla debe tener entre 3-5 % de vacíos, entonces se saca un promedio de ese rango de 3-5 dando un valor medio de 4,00 con ese valor ingresamos a la gráfica haciendo una línea horizontal hasta donde choque con la gráfica, luego en el punto de choque hacemos una línea vertical hacia abajo para encontrar el porcentaje de asfalto, dando un valor de 5,52 % de asfalto.

Gráfica 3.21: Relación betún-vacíos Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

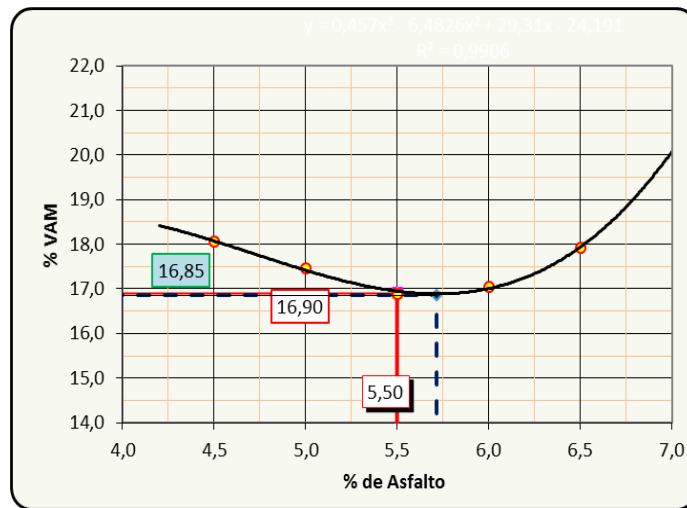
La gráfica 3.21 el porcentaje de RBV es directamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, que a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el porcentaje de RBV. Las especificaciones indican que para el porcentaje de RBV deben estar comprendidos entre 75-82, entonces se saca el valor medio que sería 78,50 y se traza una línea horizontal hasta que choque con la curva, luego se baja una línea vertical hacia abajo para determinar el porcentaje de asfalto en ese punto medio, que sería de 5,68 % de asfalto como indica la gráfica 3.21.

Gráfica 3.22: Estabilidad Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

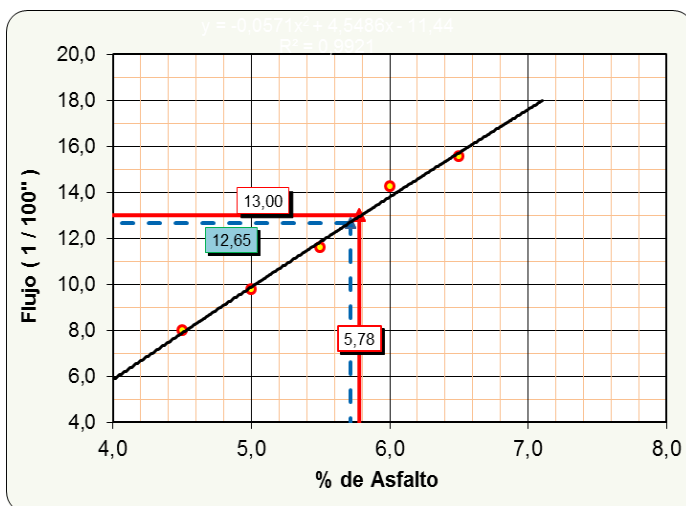
En la gráfica 3.22 se observa que la estabilidad crece a medida que el porcentaje de asfalto aumenta es decir, que a mayor porcentaje de asfalto mayor será la estabilidad, hasta llegar al valor óptimo de porcentaje de asfalto, donde vuelve a decrecer. Para determinar el porcentaje de asfalto, encontramos el punto más alto de la estabilidad y trazamos líneas horizontales y verticales. En donde a una estabilidad de 2725,60 Lb se tiene un 5,81 % de asfalto.

Gráfica 3.23: Vacíos del agregado mineral Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.23 de vacíos del agregado mineral se observa como disminuye a medida que se va aumentado el porcentaje asfalto, y luego otra vez sube. En esta gráfica se toma en cuenta el punto más bajo de vacíos, y se traza líneas horizontales y verticales para encontrar el porcentaje de asfalto a ese punto más bajo de vacíos de agregado mineral. Determinándose un 5,50 % de asfalto para un 16,85 % de vacíos de agregado mineral.

Gráfica 3.24: Flujo Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.24 se observa que la fluencia es proporcional al porcentaje de asfalto, a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el flujo. Para determinar el valor del porcentaje de asfalto se debe sacar el valor medio del rango establecido, el cual es de 8-18, teniendo como valor medio 13,00 con ese valor se determina el porcentaje de asfalto, dando un resultado de 5,78 % de asfalto.

Una vez analizadas las seis gráficas, se procede a registrarlas en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 3.61: Resultados diseño Marshall San José de Charaja 85/100

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,00	2,36	---	---
% Vacíos	5,52	4,00	3	5
R.B.V.	5,68	78,50	75	82
V.A.M.	5,50	16,90		
Estabilidad (Lb)	5,81	2725,60	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,78	13,00	8	18
Promedio	5,72	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas (densidad, Vv, R.V.B., V.A.M, estabilidad y fluencia)		

Fuente: Elaboración propia

Con todos los porcentajes de asfalto obtenidos de la tabla 3.61 se procede a sacar su valor promedio, dando como resultado 5,72 % de asfalto. Lo cual significa que ese es el porcentaje óptimo para la mezcla.

Tabla 3.62: Resultado diseño Marshall óptimo San José de Charaja 85/100

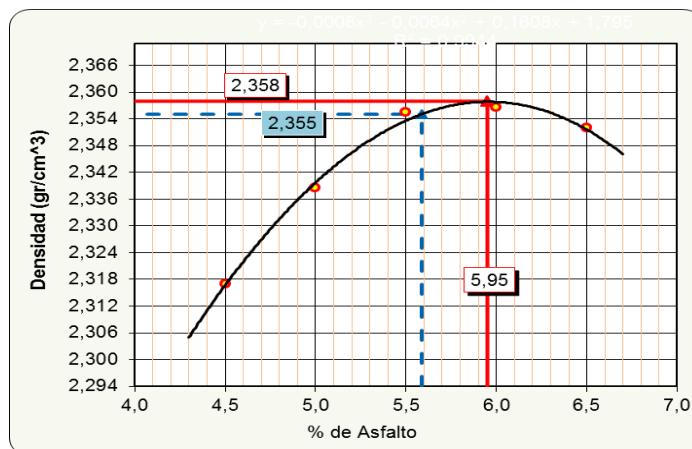
Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,72	2,36	---	---
% Vacíos	5,72	3,60	3	5
R.B.V.	5,72	78,84	75	82
V.A.M.	5,72	16,85		
Estabilidad (Lb)	5,72	2722	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,72	12,65	8	18
% Optimo de asfalto propuesto			5,72	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.62 con el valor óptimo se determinó los valores de las características de la mezcla, dando buenos resultados que están dentro de los rangos de las especificaciones. Estos se los puedo encontrar analizando de manera inversa a lo explicado anteriormente, en cada gráfica se entró con el valor de 5,72 % de asfalto, para determinar los valores de las características de la mezcla.

3.12.4.2 Resultados diseño Marshall Erika S.R.L.

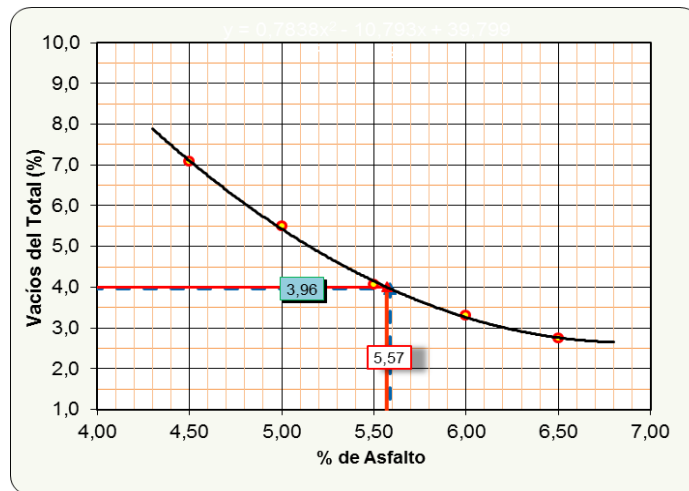
Gráfica 3.25: Densidad Vs % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

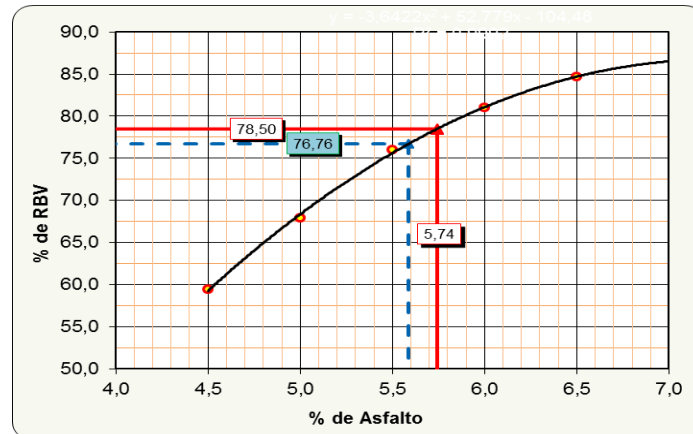
Con los datos obtenidos de la densidad se procede a graficar la curva densidad Vs. % de asfalto, obteniéndose la gráfica 3.25, donde se puede observar que es directamente proporcional es decir, que a mayor % de asfalto, mayor será su densidad. Encontramos el punto más alto de la densidad y trazamos líneas horizontales y verticales, para determinar la densidad a ese porcentaje de asfalto, siendo 2,35 gr/cm³ su densidad a 5,95 % de asfalto respectivamente.

Gráfica 3.26: % de Vacíos Vs. % de asfalto



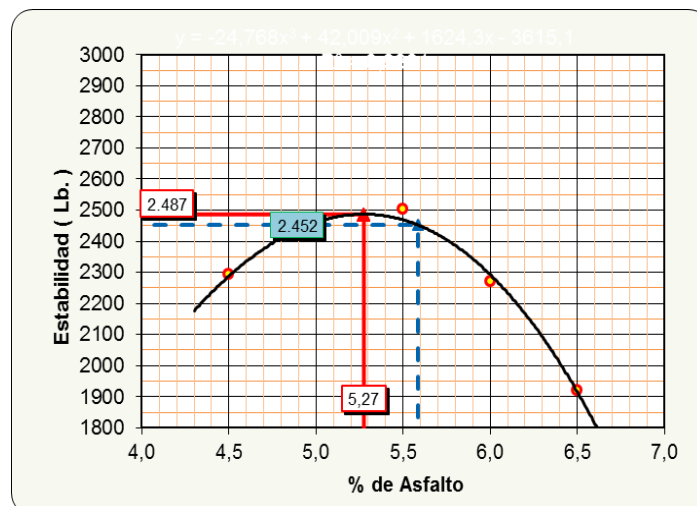
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 3.26 se observa que el porcentaje de vacíos es inversamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, a mayor porcentaje de asfalto menor porcentaje de vacíos, a menor porcentaje de asfalto mayor porcentaje de vacíos. Las especificaciones indican que una mezcla debe tener entre 3-5 % de vacíos, entonces se saca un promedio de ese rango de 3-5 dando un valor medio de 4,00 con ese valor ingresamos a la gráfica haciendo una línea horizontal hasta donde choque con la gráfica, luego en el punto de choque hacemos una línea vertical hacia abajo para encontrar el porcentaje de asfalto, dando un valor de 5,57 % de asfalto.

Gráfica 3.27: Relación betún-vacíos Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3.27 el porcentaje de RBV es directamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, que a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el porcentaje de RBV. Las especificaciones indican que para el porcentaje de RBV deben estar comprendidos entre 75-82, entonces se saca el valor medio que sería 78,50 y se traza una línea horizontal hasta que choque con la curva, luego se baja una línea vertical hacia abajo para determinar el porcentaje de asfalto en ese punto medio, que sería de 5,74 % de asfalto como indica la gráfica.

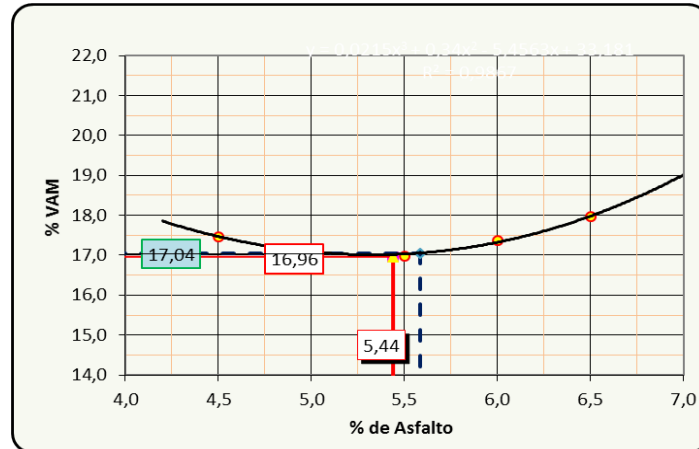
Gráfica 3.28: Estabilidad Vs. % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.28 se observa que la estabilidad crece a medida que el porcentaje de asfalto aumenta es decir, que a mayor porcentaje de asfalto mayor será la estabilidad,

hasta llegar al valor óptimo de porcentaje de asfalto, donde vuelve a decrecer. Para determinar el porcentaje de asfalto, encontramos el punto más alto de la estabilidad y trazamos líneas horizontales y verticales. Donde a una estabilidad de 2486,60 Lb se tiene un 5,27 % de asfalto.

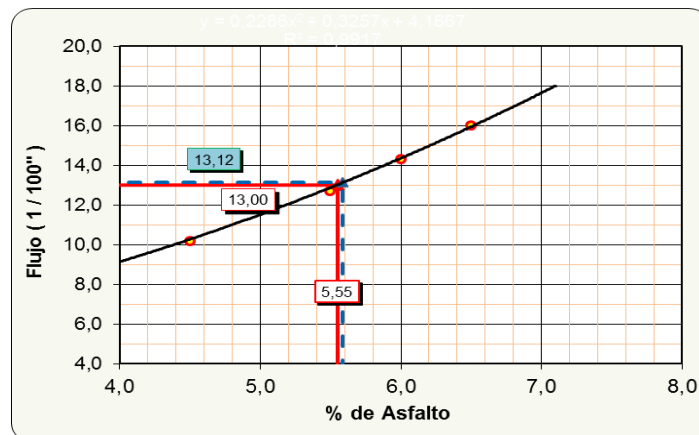
Gráfica 3.29: Vacíos del agregado mineral Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.29 de vacíos del agregado mineral se observa como disminuye a medida que se va aumentado el porcentaje asfalto, y luego otra vez sube. En esta gráfica se toma en cuenta el punto más bajo de vacíos, y se traza líneas horizontales y verticales para encontrar el porcentaje de asfalto a ese punto más bajo de vacíos de agregado mineral. Determinándose un 5,44 % de asfalto para un 17,04 % de vacíos de agregado mineral.

Gráfica 3.30: Flujo Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.30 se observa que la fluencia es proporcional al porcentaje de asfalto, a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el flujo. Para determinar el valor del porcentaje de asfalto se debe sacar el valor medio del rango establecido, el cual es de 8-18, teniendo como valor medio 13,00 con ese valor se determina el porcentaje de asfalto, dando un resultado de 5,55 % de asfalto.

Una vez analizadas las seis gráficas, se procede a registrarlas en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 3.63: Resultados diseño Marshall Erika S.R.L. 85/100

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,95	2,36	---	---
% Vacíos	5,57	4,00	3	5
R.B.V.	5,74	78,50	75	82
V.A.M.	5,44	17,00		
Estabilidad (Lb)	5,27	2486,60	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,55	13,00	8	18
Promedio	5,59	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas (densidad, Vv, R.V.B., V.A.M, estabilidad y fluencia)		

Fuente: Elaboración propia

Con todos los porcentajes de asfalto obtenidos de la tabla 3.63 se procede a sacar su valor promedio, dando como resultado 5,59 % de asfalto. Lo cual significa que ese es el porcentaje óptimo para la mezcla.

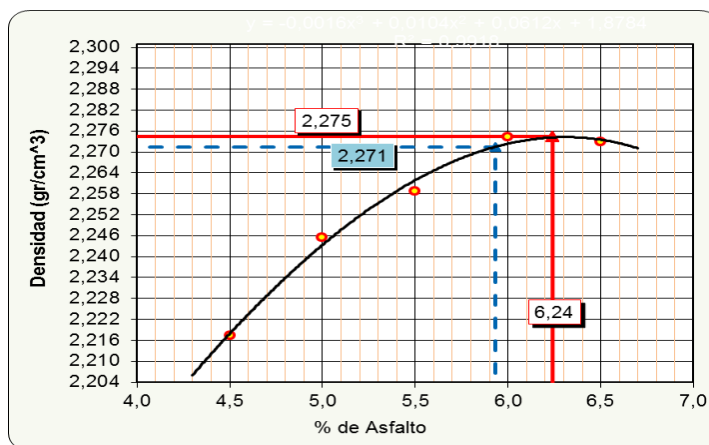
Tabla 3.64: Resultado diseño Marshall óptimo Erika S.R.L. 85/100

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,59	2,35	---	---
% Vacíos	5,59	3,96	3	5
R.B.V.	5,59	76,76	75	82
V.A.M.	5,59	17,04		
Estabilidad (Lb)	5,59	2452	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,59	13,12	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,59	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.64 con el valor óptimo se determinó los valores de las características de la mezcla, dando buenos resultados que están dentro de los rangos de las especificaciones. Estos se los pudo encontrar analizando de manera inversa a lo explicado anteriormente, en cada gráfica se entró con el valor de 5,59 % de asfalto, para determinar los valores de las características de la mezcla.

3.12.4.3 Resultados diseño Marshall La Posta Municipal

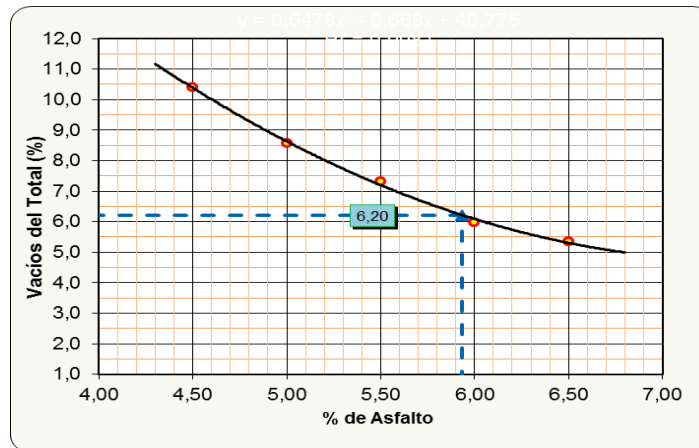
Gráfica 3.31: Densidad Vs % de asfalto

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos de la densidad se procede a graficar la curva densidad Vs. % de asfalto, obteniéndose la gráfica 3.31 donde se puede observar que es directamente proporcional es decir, que a mayor % de asfalto, mayor será su densidad. Encontramos

el punto más alto de la densidad y trazamos líneas horizontales y verticales, para determinar la densidad a ese porcentaje de asfalto, con el punto más alto obtenemos una densidad de $2,27 \text{ gr/cm}^3$ y $6,24 \%$ de asfalto respectivamente.

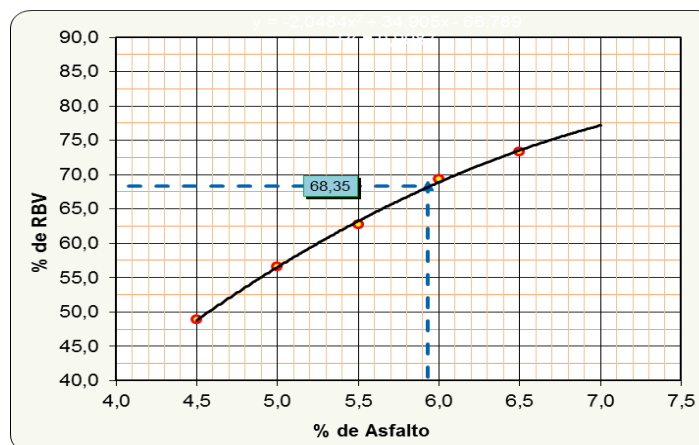
Gráfica 3.32: % De vacíos Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 3.32 se observa que el porcentaje de vacíos es inversamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, a mayor porcentaje de asfalto menor porcentaje de vacíos, a menor porcentaje de asfalto mayor porcentaje de vacíos. Las especificaciones indican que una mezcla debe tener entre 3-5 % de vacíos, entonces se saca un promedio de ese rango de 3-5 dando un valor medio de 4,00 el cual no se puede determinar porque la curva de la gráfica se encuentra más arriba del valor promedio lo cual no cumple, no pudiéndose encontrar un valor para el porcentaje de asfalto.

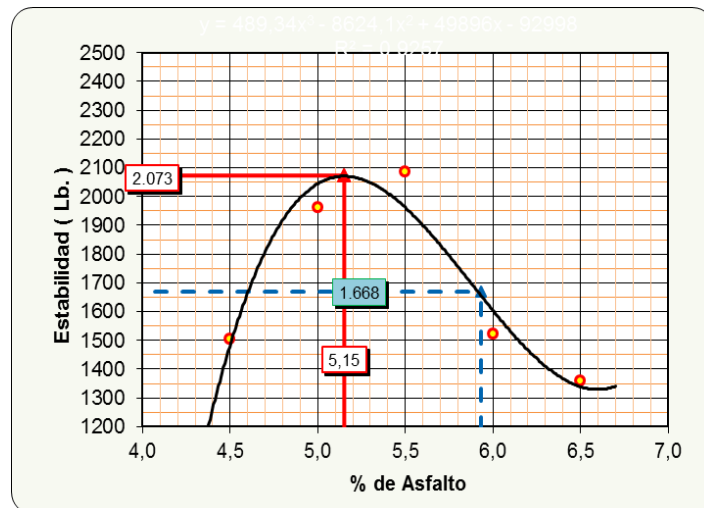
Gráfica 3.33: Relación betún-vacíos Vs. % de Asfalto



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3.33 el porcentaje de RBV es directamente proporcional al porcentaje de asfalto es decir, que a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el porcentaje de RBV. Las especificaciones indican que para el porcentaje de RVB deben estar comprendidos entre 75-82, entonces se saca el valor medio que sería 78,50 lo cual no puede determinar el valor del % de asfalto, porque la curva de la gráfica se encuentra más abajo del valor promedio.

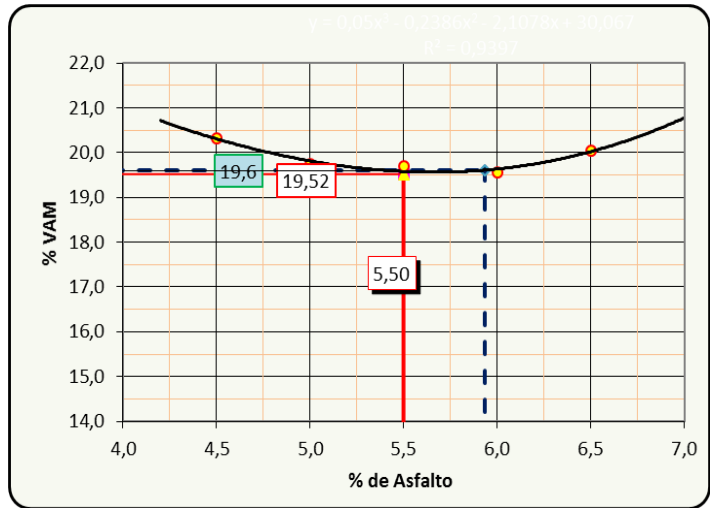
Gráfica 3.34: Estabilidad Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.34 se observa que la estabilidad crece a medida que el porcentaje de asfalto aumenta es decir, que a mayor porcentaje de asfalto mayor será la estabilidad, hasta llegar al valor óptimo de porcentaje de asfalto, donde vuelve a decrecer. Para determinar el porcentaje de asfalto, encontramos el punto más alto de la estabilidad y trazamos líneas horizontales y verticales. Donde la máxima estabilidad es de 2073,10 Lb a 5,15 % de asfalto.

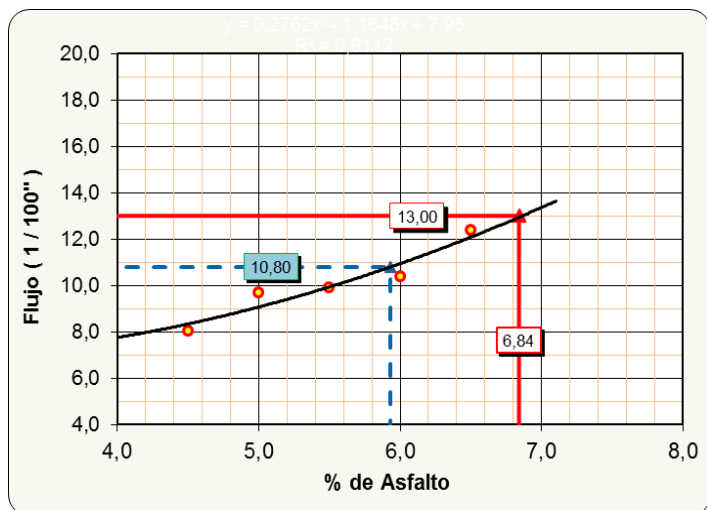
Gráfica 3.35: Vacíos del agregado mineral Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.35 de vacíos del agregado mineral se observa como disminuye a medida que se va aumentando el porcentaje asfalto, y luego otra vez sube. En esta gráfica se toma en cuenta el punto más bajo de vacíos, y se traza líneas horizontales y verticales para encontrar el porcentaje de asfalto a ese punto más bajo de vacíos de agregado mineral. El punto más bajo fue 19,50 %, y por consiguiente el porcentaje de asfalto fue de 5,50 %

Gráfica 3.36: Flujo Vs. % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.36 se observa que la fluencia es proporcional al porcentaje de asfalto, a mayor porcentaje de asfalto, mayor será el flujo. Para determinar el valor del porcentaje de asfalto se debe sacar el valor medio del rango establecido, el cual es de 8-18, teniendo como valor medio 13,00 con ese valor se determina el porcentaje de asfalto, dando un resultado de 6,84 % de asfalto.

Una vez analizadas las seis gráficas, se procede a registrarlas en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 3.65: Resultados diseño Marshall La Posta Municipal 85/100

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,24	2,27	---	---
% Vacíos			3	5
R.B.V.			75	82
V.A.M.	5,50	19,50		
Estabilidad (Lb)	5,15	2073,10	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	6,84	13,0	8	18
Promedio	5,93	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas (densidad, V.A.M, estabilidad y fluencia)		

Fuente: Elaboración propia

Con todos los porcentajes de asfalto obtenidos de la tabla 3.65 se procede a sacar su valor promedio, teniendo sólo valores para la densidad, V.A.M., estabilidad fluencia. Con esos 4 valores se saca promedio para determinar el contenido óptimo de asfalto, dando como resultado 5,93 %

Tabla 3.66: Resultado diseño Marshall optimo La Posta Municipal 85/100

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,93	2,27	---	---
% Vacíos	5,93	6,20	3	5
R.B.V.	5,93	68,35	75	82
V.A.M.	5,93	19,60		
Estabilidad (Lb)	5,93	1668	>1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,93	10,80	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,93	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.66 con el valor óptimo se determinó los valores de las características de la mezcla, dando resultados que no están dentro del rango de las especificaciones técnicas. Teniendo un porcentaje de vacíos superior al establecido, esto causará que la mezcla sea porosa, afectando de manera directa a la estabilidad y permitiendo el fácil acceso del agua, efectuándose posteriores daños por humedad. El R.V.B. sale por debajo del valor de las especificaciones.

3.12.5 Mezclas asfálticas convencionales

Tabla 3.67: Resultados obtenidos para la estabilidad

Nº	Diseño convencional C.A. 60/70		Diseño convencional C.A. 85/100	
	San José de Charaja	Erika S.R.L.	San José de Charaja	Erika S.R.L.
	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lb)
1	2524,84	2433,48	2076,05	2293,70
2	2691,76	2740,26	2365,64	2438,30
3	2894,55	2930,73	2541,45	2502,40
4	2822,80	2513,77	2749,26	2270,82
5	2519,46	2315,33	1986,95	1921,59

Fuente: Elaboración propia

Se calculó la estabilidad de las distintas probetas de mezclas asfálticas convencionales, se observa que los mayores resultados se obtuvieron con el cemento asfáltico 60/70, tanto para los agregados extraídos de San José de Charaja y Erika S.R.L., también se

observa que los mayores resultados se obtuvieron con el agregado procedente de San José de Charaja como vemos en la tabla 3.67.

Tanto para la mezcla asfáltica convencional 60/70 y 85/100 la estabilidad con el agregado de San José de Charaja da mayores resultados que el árido proveniente de Erika S.R.L.

Tabla 3.68: Resultados obtenidos para la fluencia

Nº	Diseño convencional C.A. 60/70		Diseño convencional C.A. 85/100	
	San José de Charaja	Erika S.R.L.	San José de Charaja	Erika S.R.L.
	Flujo	Flujo	Flujo	Flujo
1	7,67	9,10	7,97	10,13
2	9,73	10,70	9,77	11,83
3	11,0	12,03	11,60	12,67
4	12,83	13,87	14,23	14,30
5	14,83	15,37	15,53	16,00

Fuente: Elaboración propia

Se calculó la fluencia de las mezclas asfálticas convencionales, dado el caso las menores deformaciones se dan con la mezcla asfáltica 60/70, para los agregados de San José de Charaja y Erika S.R.L., de estos dos áridos el que da menores valores es de San José de Charaja.

En la tabla 3.68 se observa que las mayores deformaciones con el cemento asfáltico 85/100, ocurre el mismo caso que el anterior debido a que los menores resultados se observan con el agregado de San José de Charaja.

3.12.6 Análisis del daño por humedad en función del árido

Mezcla asfáltica en estado seco

En las gráficas podemos observar el comportamiento de las mezclas asfálticas en estado seco en función de los dos tipos de áridos en análisis.

Tabla 3.69: Resultados obtenidos para la estabilidad y la fluencia con el ligante asfáltico 60/70

N°	%	San José de Charaja		Erika S.R.L.	
		Estabilidad (Lb)	Fluencia	Estabilidad (Lb)	Fluencia
1	20	9555,93	7,17	8898,77	7,50
2	40	9296,31	7,40	8403,45	7,87
3	60	8633,03	7,77	8114,63	8,57
4	80	8322,12	8,43	7673,79	9,37
5	100	8100,27	9,97	7309,80	10,74

Fuente: Elaboración propia

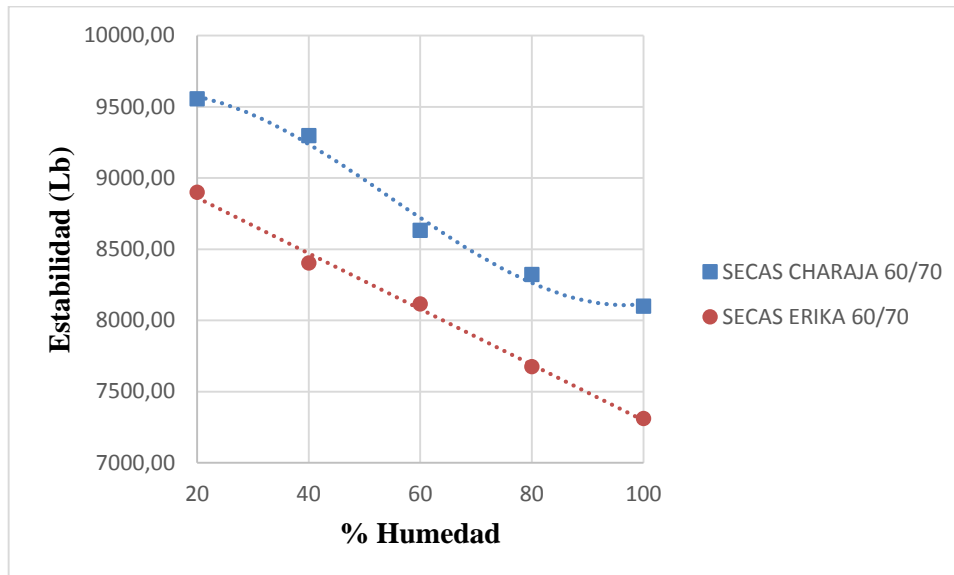
Tabla 3.70: Resultados obtenidos para la estabilidad y la fluencia con el ligante asfáltico 85/100

N°	%	San José de Charaja		Erika S.R.L.	
		Estabilidad (Lb)	Fluencia	Estabilidad (Lb)	Fluencia
1	20	8378,41	7,85	7318,69	8,57
2	40	7621,69	8,40	6947,75	8,77
3	60	6923,41	9,10	6445,17	9,53
4	80	6547,05	10,50	5933,20	10,87
5	100	6316,27	11,87	5712,58	12,51

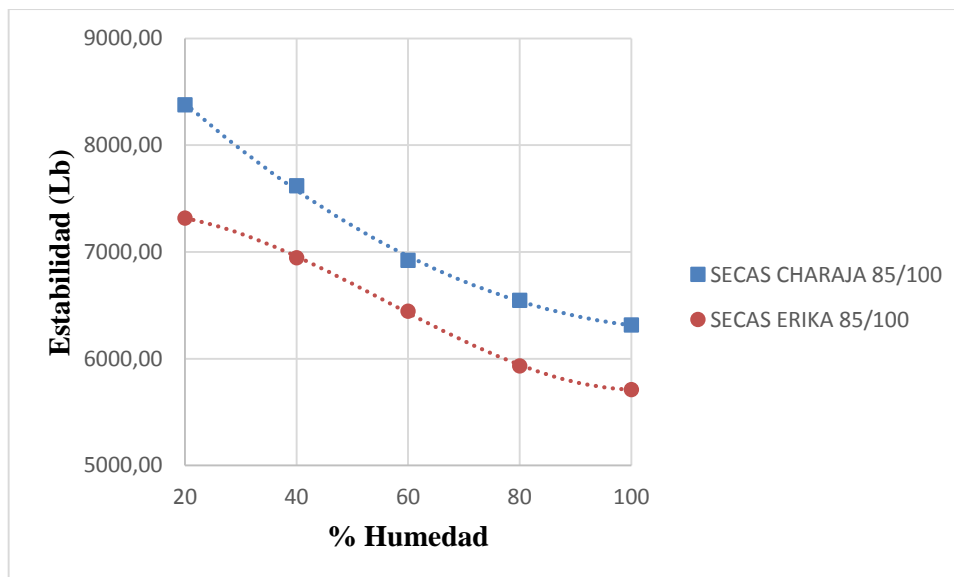
Fuente: Elaboración propia

A partir del contenido óptimo de Cemento Asfáltico 60/70 se determinó la estabilidad y la fluencia, dando como resultados los siguientes valores de la tabla 3.69.

Las estabilidades con mayores resultados fueron con el agregado procedente de San José de Charaja ya que estos agregados son de buenas características en el ensayo de desgaste de los ángeles y de durabilidad

Gráfica 3.37: Estabilidad vs humedad con la mezcla asfáltica 60/70

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.38: Fluencia vs humedad con la mezcla asfáltica 60/70

Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 3.37 podemos observar que el árido que admitió mayor estabilidad fue el de San José de Charaja seguido por el de Erika S.R.L., donde la forma y textura superficial de las partículas gruesas juegan un rol muy importante. Estas briquetas sometidas a seco mediante un horno con temperatura regulada, son muy altas sus

estabilidades lo que lo hace que el pavimento se vuelva rígido, pudiéndole causar fallas cuando haya tránsito de vehículos.

En la gráfica 3.38 observamos que las mayores estabilidades son con el agregado de San José de Charaja seguido por el de Erika S.R.L.

El agregado de Erika S.R.L. baja sus estabilidades de manera constante como se muestra en la gráfica.

Mezclas asfálticas en estado húmedo

En las gráficas podemos observar el comportamiento de las mezclas asfálticas en estado húmedo en función de los dos tipos de áridos en análisis.

Tabla 3.71: Resultados obtenidos para la estabilidad y la fluencia con el ligante asfáltico 60/70

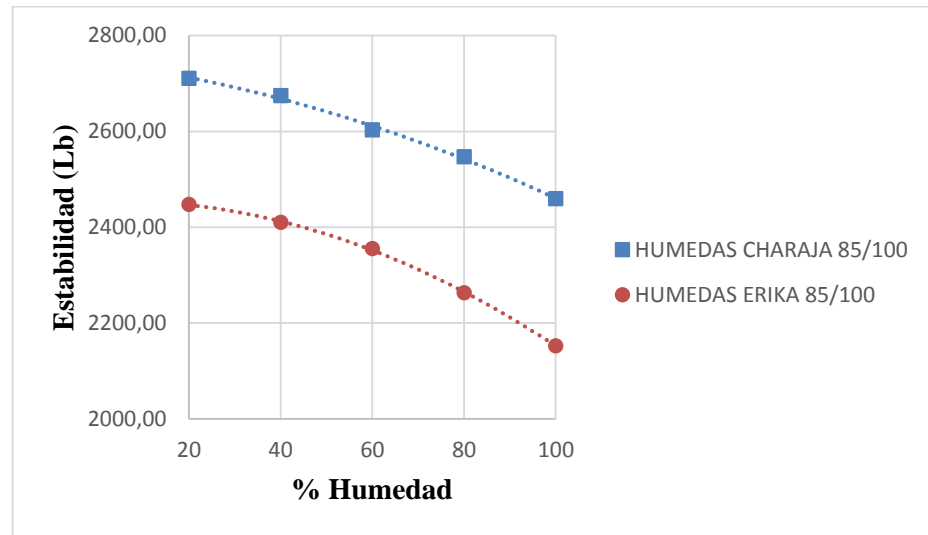
Nº	% Humedad	San José de Charaja		Erika S.R.L.	
		Estabilidad (Lb)	Fluencia	Estabilidad (Lb)	Fluencia
1	20	2872,51	8,35	2729,40	9,33
2	40	2840,08	8,63	2713,58	9,70
3	60	2781,66	9,50	2667,46	10,31
4	80	2718,55	10,54	2605,84	11,52
5	100	2635,88	11,70	2525,13	12,79

Fuente: Elaboración propia

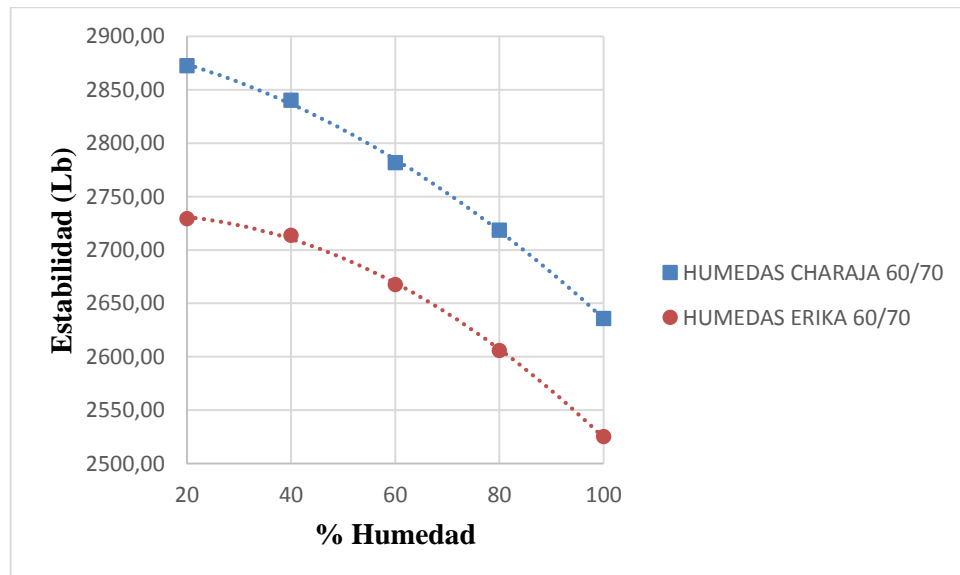
Tabla 3.72: Resultados obtenidos para la estabilidad y la fluencia con el ligante asfáltico 85/100

Nº	% Humedad	San José de Charaja		Erika S.R.L.	
		Estabilidad (Lb)	Fluencia	Estabilidad (Lb)	Fluencia
1	20	2710,93	9,07	2447,16	9,73
2	40	2674,34	9,20	2409,71	10,05
3	60	2603,25	9,80	2355,33	10,74
4	80	2547,17	10,70	2262,78	11,84
5	100	2459,37	12,47	2152,31	13,15

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.39: Estabilidad vs humedad con la mezcla asfáltica 60/70

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.40: Estabilidad vs humedad con la mezcla asfáltica

Fuente: Elaboración propia

Observamos en ambas graficas que, todas las mezclas asfálticas acondicionadas mediante un proceso de inmersión en humedad existe una pérdida en su estabilidad, debido al daño generado por la acción del agua afectando las propiedades de adherencia en la matriz árido-ligante.

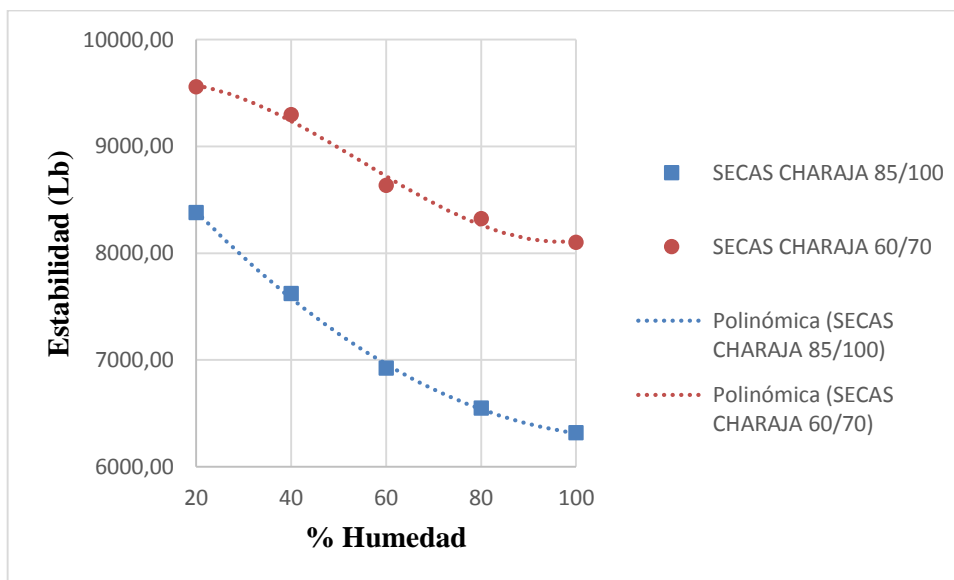
Como se puede observar en ambas graficas el agregado que mejor soporta el daño por humedad es el de San José de Charaja debido a que, este árido presentó mejores resultados en sus características del material.

Para el caso de las mezclas confeccionadas con el árido de Erika S.R.L. la susceptibilidad al daño por humedad se ve más desfavorable en comparación con el árido de San José de Charaja, esto debido al porcentaje de caras fracturas que existía en la muestra, no existiendo una buena trabazón, llenando menos porosidades internas y por ende, resultando mezclas menos densas.

3.12.7 Análisis del daño por humedad en función del ligante asfáltico

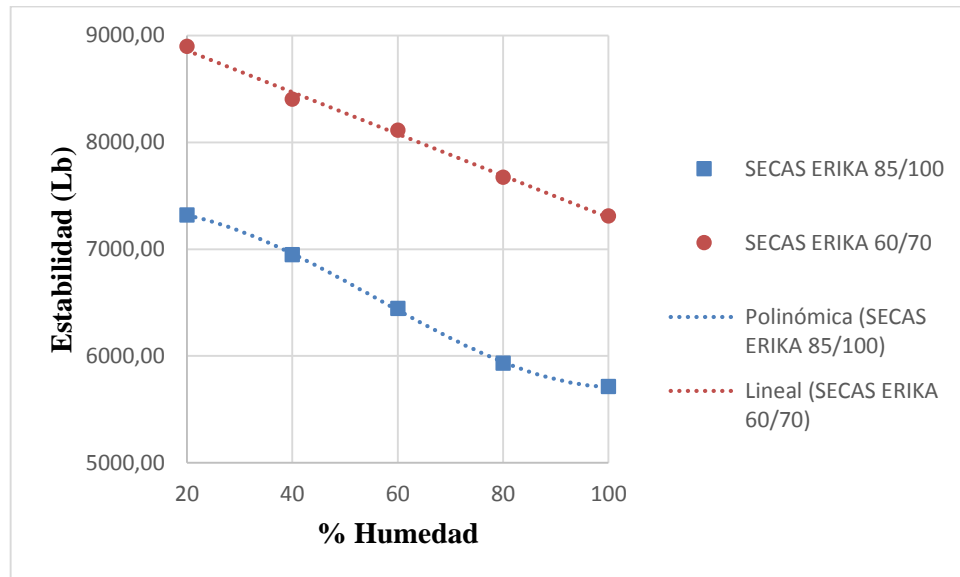
Mezclas asfálticas en estado seco

Gráfica 3.41: Estabilidad vs humedad con la mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.42: Estabilidad vs humedad con la mezcla asfáltica

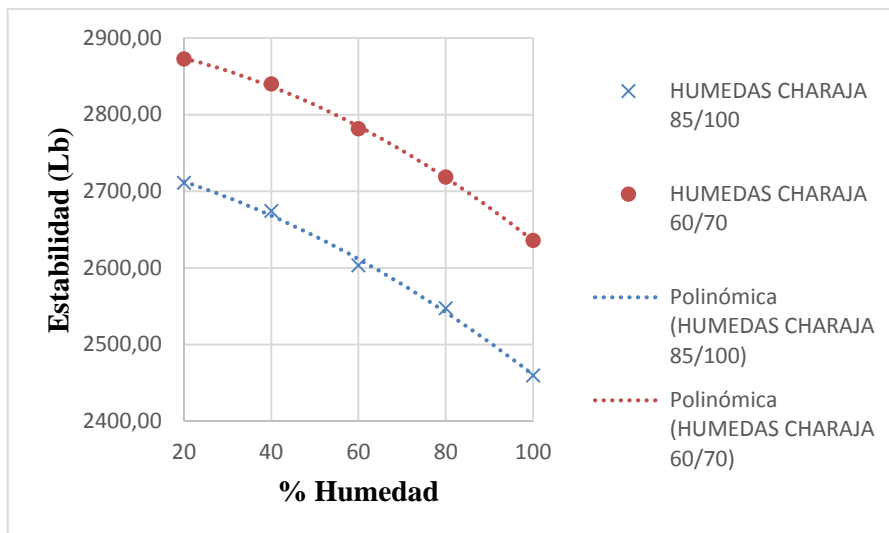


Fuente: Elaboración propia

Después de un acondicionamiento a secado mediante un horno se puede observar que las mezclas preparadas con ambos ligantes tienen estabilidades muy altas, de las cuales el ligante que más soporta cargas es el ligante asfáltico 60/70. Pudiéndose observar que es el que mejor resistencia obtiene tanto en estado seco como en húmedo.

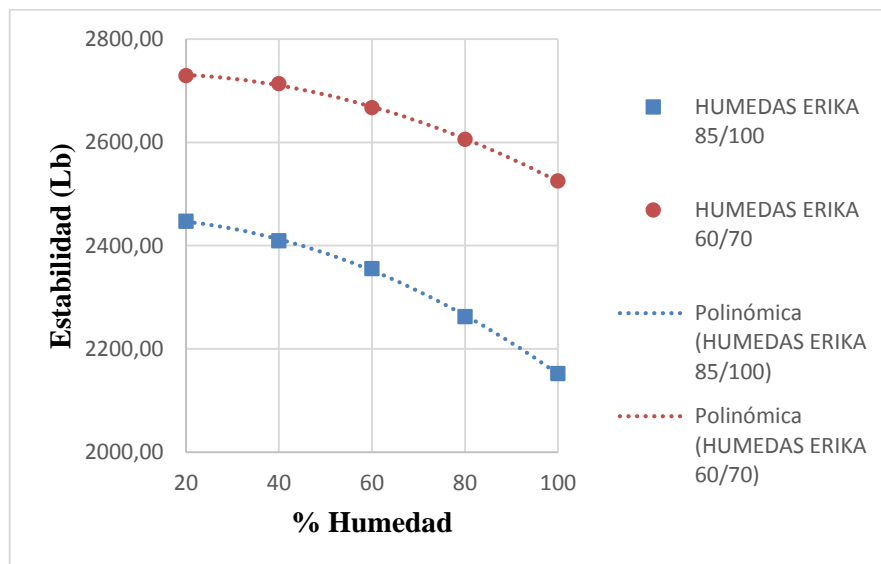
Mezclas asfálticas en estado húmedo

Gráfica 3.43: Estabilidad vs humedad con la mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.44: Estabilidad vs humedad con la mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Observando ambas gráficas que después de un acondicionamiento mediante un proceso de inmersión en humedad, ambos ligantes (85/100 y 60/70) debilita su capacidad adhesiva y cohesiva debido a que el agua llega a la interfaz árido-ligante induciendo la separación de la película de ligante del árido, lo que trae como consecuencia una disminución de la capacidad del asfalto a soportar cargas.

Se puede apreciar que el ligante asfáltico 60/70 obtiene mayor resistencia tanto en estado seco como en húmedo debido a que este tipo de ligante se caracteriza por poseer una alta rigidez, como se mostró en los ensayos de penetración.

3.12.8 Análisis por el tipo de agregado

La granulometría de San José de Charaja la arena contenía mucho filler un 18,60 % lo cual hacía que la curva granulométrica no esté bien definida en los rangos establecidos, para lo cual se tuvo que mezclar la arena de San José de Charaja con la arena de Erika S.R.L. en cantidades iguales, una vez mezcladas las arenas se procedió a realizar nuevamente la granulometría dando como resultado una buena curva definida en los rangos. Los % de áridos para la curva fueron los siguientes: grava 25 %, gravilla 25 %, arena Charaja 25 % y arena Erika S.R.L. 25 %.

La granulometría de la empresa Erika S.R.L. dio buenos resultados en la curva granulométrica, siendo un 24 % de grava, 28 % de gravilla y 48 % de arena sin lavar, esto con el fin de mantener cierto porcentaje de filler presente para la dosificación de las briquetas.

La granulometría de la Posta Municipal todos los resultados obtenidos en ella, estuvieron dentro de la curva para la dosificación de las briquetas.

El ensayo de desgaste de los ángeles demuestra que el agregado de San José de Charaja es el más resistente al desgaste o a la abrasión, seguido por el de la Erika S.R.L. y por último el agregado de La Posta Municipal. De este resultado dependerá la estabilidad que tendrán las briquetas, una vez que se sometan a la prensa Marshall.

Por consiguiente, la mayor estabilidad fue para los materiales de San José de Charaja, seguidos por Erika S.R.L. En los resultados de La Posta Municipal no se obtuvo buenos resultados, puesto que la arena con la que se trabajó es natural, y ello hizo que los

resultados para el Marshall fueran desfavorables, no pudiéndose encontrar el % de vacíos y R.V.B. ya que en los gráficos obtenidos estos no estaban dentro de las condiciones para el diseño.

La durabilidad de los sulfatos el que obtuvo más pérdida fue el de La Posta Municipal, seguido por Erika S.R.L. y por ultimo San José de Charaja. Esto quiere decir que el material de La Posta Municipal es el más propenso a los agentes atmosféricos, seguido por el de Erika S.R.L., el agregado de San José de Charaja tiene una buena resistencia a los agentes atmosféricos que se presenten en nuestro medio. (Esto se podrá observar en los resultados de la investigación, sometiendo las briquetas a diferentes porcentajes de humedad, dando como resultado consecuente una buena estabilidad a las briquetas que son elaboradas con áridos de San José de Charaja).

En el ensayo de caras fracturadas todos los agregados estudiados San José de Charaja, Erika S.R.L. y La Postas Municipal cumplieron con la especificación técnica requerida para la realización del ensayo Marshall. Siendo el agregado de San José de Charaja con el mayor porcentaje de caras fracturadas, seguido por el de Erika S.R.L. y el de La Posta Municipal.

Si bien todos los agregados cumplen, el material de San José de Charaja tendrá mejores resultados de resistencia al esfuerzo cortante y una mayor estabilidad, puesto que sus agregados tendrán una mayor trabazón. Las mayores estabilidades se alcanzan cuando las partículas tienen forma irregular, debido a que oponen mayor resistencia a su desplazamiento ante el efecto de una carga.

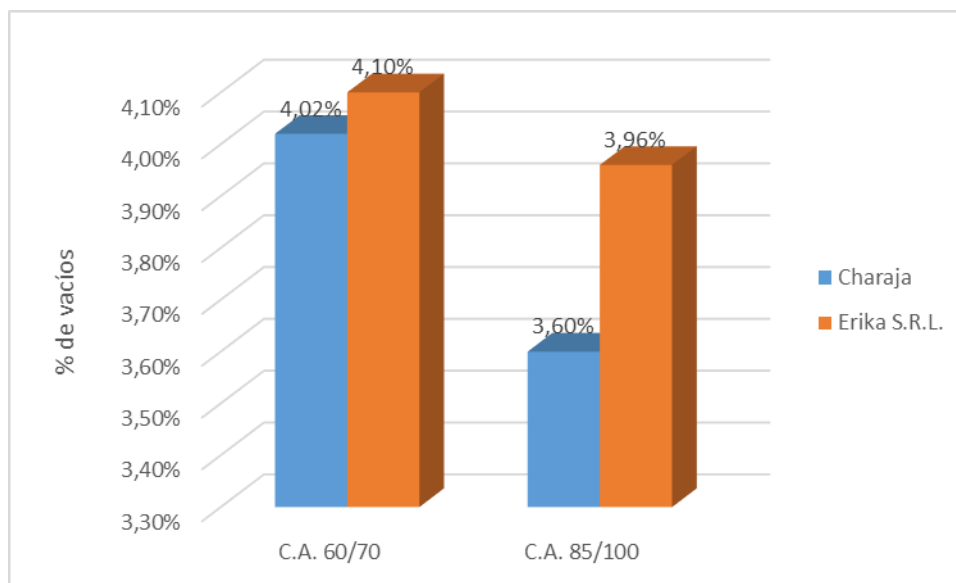
El equivalente de arena para los agregados en estudio fue el siguiente, el material de La Posta Municipal fue el que presentó mayor cantidad perjudicial de arcilla presentes en el agregado fino, esto afecta negativamente a la adherencia del asfalto con los agregados.

Observando que para todas las mezclas asfálticas el árido que admitió mayor estabilidad es el de San José de Charaja.

3.12.9 Análisis de la variación porcentual de las mezclas asfálticas

Cantidad de vacíos presentes en la mezcla

Grafica 3.45: Porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas



Fuente: Elaboración propia

Observamos en la presente gráfica que las mezclas trabajadas con el cemento asfáltico 60/70 presentan menor cantidad de vacíos en comparación con el cemento asfáltico 85/100. El comportamiento de las mezclas asfálticas dañadas por el efecto del agua se puede relacionar además con el contenido de vacíos que éstas poseen luego de ser compactadas, donde a través de la gráfica 3.45 se observa que las mezclas elaboradas con el agregado de San José de Charaja presenta menores porcentajes de vacíos en comparación con las elaboradas con el agregado de Erika S.R.L. lo cual significa que altos contenidos de vacíos en la mezcla proporciona pasajes a través de ella por donde puede ingresar el agua y causar deterioros.

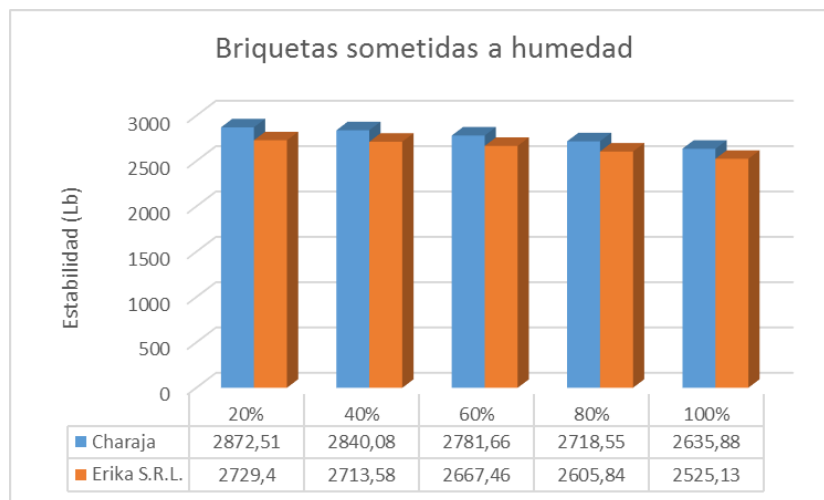
El agregado de San José de Charaja es el que presenta menor cantidad de vacíos en ambos casos, esto debido a sus características de forma angulosa y textura superficial rugosa, proporcionando a la mezcla mayor fricción interna y una mejor cohesión en el cemento asfáltico.

3.12.10 Variación porcentual de las estabilidades entre ambos agregados

Briquetas en estado húmedo

Agregado Charaja y Erika S.R.L. con C.A. 60/70

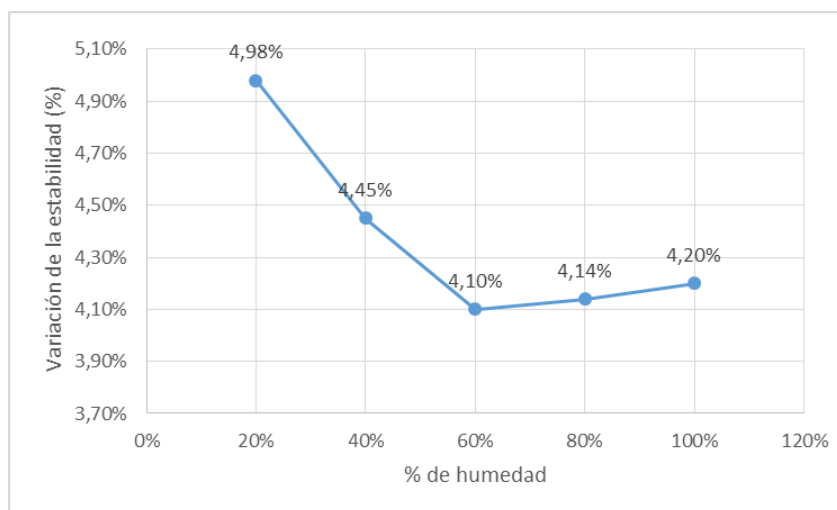
Gráfica 3.46: Estabilidad Vs. humedad



Fuente: Elaboración propia

Se observa que para todas las mezclas asfálticas sometidas a un proceso de inmersión en humedad, existe una pérdida en su resistencia, debido al daño generado por la acción del agua, afectando sus propiedades de adhesión y cohesión en la matriz árido-ligante.

Gráfica 3.47: Variación porcentual del daño por humedad



Fuente: Elaboración propia

Haciendo una comparación porcentual entre las estabilidades de ambos agregados para observar de qué manera influye en cada porcentaje de humedad tenemos que, a un 20 % de humedad la estabilidad entre ambos agregados varía un 4,98 %.

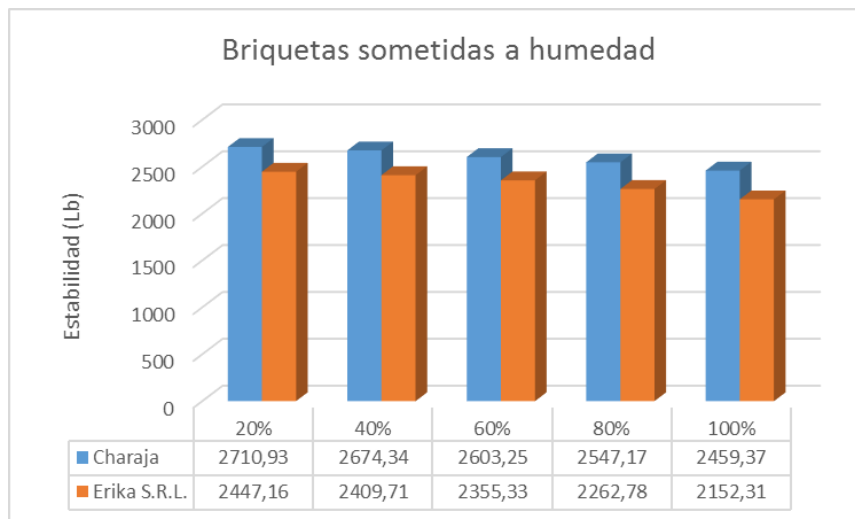
Teniendo una humedad de 40 % su estabilidad varía un 4,45 % en el caso de tener una humedad de 60 % su estabilidad varía en 4,10 % entre ambos agregados.

Con 80 % de humedad su estabilidad cambia a 4,14 % con respecto de ambos agregados y finalmente con un 100 % de humedad su estabilidad cambia a 4,20 % entre ambos agregados. Esto quiere decir que a cada porcentaje de humedad la estabilidad no es la misma, siendo a un 60 % de humedad el menor daño provocado por el efecto del agua.

Haciendo una comparación porcentual entre las estabilidades de ambos agregados para observar cómo influye en cada porcentaje de humedad, tenemos que el menor daño por humedad ocurre a un 60 %.

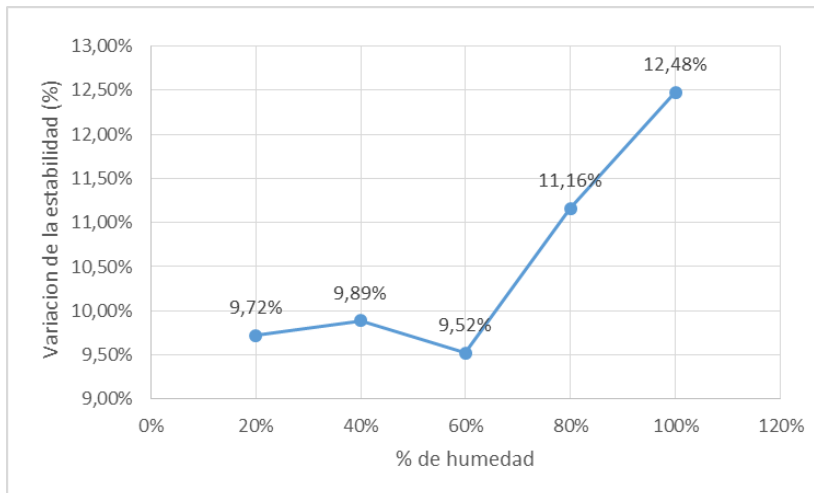
Agregado Charaja y Erika con C.A. 85/100

Gráfica 3.48: Estabilidad Vs. humedad



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el daño por humedad para este tipo de ligante 85/100 con los mismos agregados trabajados anteriormente es poca la diferencia con respecto al anterior ligante 60/70, entonces decimos que el agregado de Charaja es el que presenta buenas resistencias en condiciones de humedad.

Gráfica 3.49: Variación porcentual del daño por humedad

Fuente: Elaboración propia

Haciendo una comparación porcentual entre las estabilidades de ambos agregados para observar de qué manera influye en cada porcentaje de humedad tenemos que, a un 20 % de humedad la estabilidad entre ambos agregados varía un 9,72 %.

Teniendo una humedad de 40 % su estabilidad varía un 9,89 % en el caso de tener una humedad de 60 % su estabilidad varía en 9,52 % entre ambos agregados.

Con 80 % de humedad su estabilidad cambia a 11,16 % con respecto de ambos agregados y finalmente con un 100 % de humedad su estabilidad cambia a 12,48 % entre ambos agregados. Esto quiere decir que a cada porcentaje de humedad la estabilidad no es la misma, siendo a un 60 % de humedad el menor daño provocado por el efecto del agua.

Haciendo una comparación porcentual entre las estabilidades de ambos agregados para observar cómo influye en cada porcentaje de humedad, tenemos que el menor daño por humedad ocurre a un 60 %.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se realizó la evaluación que causa el daño generado por la humedad a las mezclas asfálticas, pudiéndose observar en el ensayo Marshall el cual demuestra que todas las mezclas asfálticas sometidas a la humedad, sufren daño dentro de su estructura haciendo que tenga una disminución es la estabilidad.
- Se realizó la caracterización para los tres tipos de agregados estudiados San José de Charaja, Erika S.R.L. y La Posta Municipal en el cual la arena de San José de Charaja presenta un alto porcentaje de filler 18,60 %, valor que esta fuera de los límites establecidos, 10 - 15 %. Para lo cual se realizó una compensación con arena lavada de Erika S.R.L. en un porcentaje de 50 % de arena de San José de Charaja y 50 % de arena lavada de Erika S.R.L.
- El agregado de La Posta Municipal, la arena tiene un origen natural y no triturado, haciendo que en el diseño Marshall no cumpla con las especificaciones técnicas, en ambos diseños tanto para el ligante asfáltico 85/100 como para el ligante asfáltico 60/70. Teniendo un porcentaje de vacíos de 7,36 % superior a lo requerido que es de 3 - 5 %, relación betún-vacíos R.B.V por debajo de lo establecido con un 63,15 % debiendo estar entre 75 - 82 % y con una estabilidad menor a la requerida para nuestro tráfico pesado que es de 1800 Lb.
- Se realizó la dosificación de briquetas para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico, con los agregados de San José de Charaja, Erika S.R.L. y La Posta Municipal, con los ligantes asfálticos 85/100 y 60/70. Teniendo 15 briquetas para cada diseño, con un total de 45 briquetas por cada ligante asfáltico. En donde se obtuvo para el agregado de San José de Charaja con el ligante asfáltico 60/70 un 5,75 % de contenido óptimo de ligante asfáltico con una estabilidad de 2884 Lb. Para el agregado de San José de Charaja con el ligante asfáltico 85/100 el contenido óptimo de cemento asfáltico fue de 5,72 % con una estabilidad de 2722 Lb. En el caso del agregado de Erika S.R.L. su contenido óptimo fue de 5,71 % de cemento asfáltico con una estabilidad de 2748 Lb. Y finalmente el agregado de Erika S.R.L.

con el ligante asfáltico 85/100 fue de 5,59 % óptimo de cemento asfáltico con una estabilidad de 2452 Lb.

- Se logró realizar la evaluación de briquetas secas y húmedas de las mezclas asfálticas, con los agregados de San José de Charaja y Erika S.R.L. obteniéndose el comportamiento que a continuación se indica.

Briquetas húmedas con el agregado de San José de Charaja y el ligante asfáltico 85/100:

- A un 20 % de humedad en un tiempo de 1:00 hora su estabilidad 2710,93 Lb baja en un 0,41 % con respecto a la estabilidad obtenida 2722 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Para una humedad de 40 % en un tiempo de 2:00 horas su estabilidad 2674,34 Lb baja en un 1,75 % con respecto a la estabilidad obtenida 2722 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Con una humedad de 60 % en un tiempo de 3:00 horas su estabilidad 2603,25 Lb baja en un 4,36 % con respecto a la estabilidad obtenida 2722 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Teniendo un 80 % de humedad en un tiempo de 4:00 horas su estabilidad 2547,17 Lb baja en un 6,42 % con respecto a la estabilidad obtenida 2722 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Llegándose a un 100 % de humedad en un tiempo de 5:00 horas, su estabilidad 2459,37 Lb baja en un 9,65 % con respecto a la estabilidad obtenida 2722 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

Briquetas húmedas con el agregado de San José de Charaja y el ligante asfáltico 60/70:

- Para un 20 % de humedad en un tiempo de 1:00 hora su estabilidad 2872,51 Lb baja en un 0,39 % con respecto a la estabilidad obtenida 2884 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Con un 40 % de humedad en un tiempo de 2:00 horas su estabilidad 2840,08 Lb baja en un 1,52 % con respecto a la estabilidad obtenida 2884 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

- Obteniendo un 60 % de humedad en un tiempo de 3:00 horas su estabilidad 2781,66 Lb baja en un 3,55 % con respecto a la estabilidad obtenida 2884 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Alcanzando un 80 % de humedad en un tiempo de 4:00 horas su estabilidad 2718,55 Lb baja en un 5,74 % con respecto a la estabilidad obtenida 2884 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Logrando un 100 % de humedad en un tiempo de 5:00 horas su estabilidad 2635,88 Lb baja en un 8,60 % con respecto a la estabilidad obtenida 2884 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

Briquetas húmedas con el agregado Erika S.R.L. y ligante asfáltico 85/100:

- Adquiriendo un 20 % de humedad en un tiempo de 1:00 hora su estabilidad 2447,16 Lb baja en un 0,20 % con respecto a la estabilidad obtenida 2452 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Para un 40 % de humedad en un tiempo de 2:00 horas su estabilidad 2409,71 Lb baja en un 1,72 % con respecto a la estabilidad obtenida 2452 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- A un 60 % de humedad en un tiempo de 3:00 horas su estabilidad 2355,33 Lb baja en un 3,94 % con respecto a la estabilidad obtenida 2452 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Alcanzando un 80 % de humedad en un tiempo de 4:00 horas su estabilidad 2262,78 Lb baja en un 7,72 % con respecto a la estabilidad obtenida 2452 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Consiguiendo el 100 % de humedad en un tiempo de 5:00 horas su estabilidad 2152,31 Lb baja en un 12,22 % con respecto a la estabilidad obtenida 2452 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

Briquetas húmedas con el agregado Erika S.R.L. y ligante asfáltico 60/70:

- Para un 20 % de humedad en un tiempo de 1:00 hora su estabilidad 2729,40 Lb baja en un 0,68 % con respecto a la estabilidad obtenida 2748 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

- Con un 40 % de humedad en un tiempo de 2:00 horas su estabilidad 2713,58 Lb baja en un 1,25 % con respecto a la estabilidad obtenida 2748 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Obteniendo un 60 % de humedad en un tiempo de 3:00 horas su estabilidad 2667,46 Lb baja en un 2,93 % con respecto a la estabilidad obtenida 2748 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Logrando un 80 % de humedad en un tiempo de 4:00 horas su estabilidad 2605,84 Lb baja en un 5,17 % con respecto a la estabilidad obtenida 2748 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Alcanzando un 100 % de humedad en un tiempo de 5:00 horas su estabilidad 2525,13 Lb baja en un 8,11 % con respecto a la estabilidad obtenida 2748 Lb, con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Valoramos que para todas las mezclas asfálticas acondicionadas a un proceso de inmersión en humedad, existe una pérdida en su resistencia en relación con la resistencia que se obtuvo con el % óptimo de cemento asfáltico por medio del ensayo Marshall. Unas en mayor porcentaje que otras, debido al daño generado por la acción del agua afectando las propiedades de adhesión y cohesión en la matriz árido-ligante.
- Uno de los factores que incide en la pérdida de resistencia es por el porcentaje de caras fracturadas de los áridos en estudio, el cual el agregado de Erika S.R.L. fue el que tuvo menos caras fracturadas con un 87,5 % en comparación con un 94,3 % de San José de Charaja.
- El agregado de San José de Charaja se favorece con la trabazón mecánica entre ellos, por tener una textura superficial rugosa que tiende a formar fuertes enlaces con el ligante asfáltico. Por lo que con las características mencionadas se obtiene un buen comportamiento frente al daño por humedad, ayudando a disminuir las porosidades internas de la mezcla asfáltica obstaculizando el ingreso de agua y posterior ruptura de la matriz árido-ligante.
- Por su parte, las mezclas asfálticas fabricadas con áridos de San José de Charaja, presentan buenas resistencias al ensayo Marshall en condiciones de humedad.

- El árido que admitió mayor resistencia fue el de San José de Charaja seguido por el de Erika S.R.L., en donde la forma y textura superficial de las partículas gruesas juegan un rol importante. En donde se tiene un 94,3 % de caras fracturadas, lo que presentara un buen comportamiento debido a que la mezcla tiene una buena fricción interna entre partículas de árido otorgándole una buena resistencia frente a la acción de cargas externas.
- Como se puede observar en los resultados de las briquetas sometidas a un estado seco, en todos los casos nos da valores muy altos de su estabilidad, haciendo que el pavimento flexible se convierta en rígido, y por la transitabilidad de los vehículos pesados cause daños en la estructura del pavimento haciendo que este se pueda partir.
- De los áridos evaluados el que presenta la menor resistencia en estado seco es el árido de Erika S.R.L. al poseer un mayor porcentaje de partículas lajeadas, lo que contribuye a fracturarse o romperse durante procesos como la compactación y tensiones de tráfico.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar para el diseño de la mezcla asfáltica el material de San José de Charaja, ya que este dio buenos resultados al momento de efectuar la caracterización del agregado y fue con este material que las briquetas sometidas a humedad dieron mayores resultados en comparación con el agregado de Erika S.R.L.
- Evitar no utilizar el material de La Posta Municipal, debido a las propiedades de sus agregados, que si bien al momento de su caracterización estos cumplían con los rangos establecidos, pero fue el material que dio los resultados más bajos en comparación con los de San José de Charaja y Erika S.R.L., puesto que por esta razón no se pudo determinar los valores de las características de la mezcla asfáltica en el diseño Marshall, no cumpliendo con las especificaciones técnicas del mismo.
- Se aconseja cerrar bien los recipientes en donde se colocaran las muestras (briquetas) a ser estudiadas, ya que si no están bien cerrados al momento de la lecturación con el equipo medidor de temperatura y humedad, hará variar los porcentajes requeridos para la investigación.

- Se recomienda profundizar el estudio de los efectos de la humedad en las mezclas asfálticas ya que en nuestro medio no se cuenta con el equipo necesario.
- Antes de realizar la mezcla asfáltica para la elaboración de las briquetas en estudio, se debe calentar todos los materiales, martillo Marshall, base, collarín, agregados, cemento asfáltico, para que estos tengan la temperatura adecuada al momento de ser mezclados.
- Calentar el asfalto en pequeñas latas la cantidad necesaria a ser usada, ya que los recalentamientos continuos hace que el betún pierda sus características propias de diseño, y por consiguiente dará bajos resultados.
- Para garantizar el recubrimiento de los agregados durante la fabricación de la mezcla asfáltica es necesario mantener controlada y supervisada la temperatura establecida.
- Los áridos a emplearse en la elaboración de la mezcla, deben estar limpios y secos, ya que al existir partículas de finos en los agregados, impedirán el buen recubrimiento del ligante asfáltico.
- Al momento de realizar la compactación con el martillo Marshall, dar todos los golpes con la misma intensidad con la que se inició el proceso. Ya que esto puede ocasionar que contenga vacíos inadecuados para las briquetas en estudio.
- Tomar en cuenta la temperatura de mezcla y compactación, ya que de esto depende obtener buenos resultados.
- Tener cuidado al momento de trabajar con el cemento asfáltico ya que este material se lo trabaja a altas temperaturas, usar guantes de cuero y ropa adecuada que no sea sintética, alejar la gasolina del fuego y del material inflamable, ya que esto puede ocasionar incendios.
- Es recomendable utilizar las balanzas que no sean digitalizadas al momento de realizar los pesos a las briquetas, ya que estas son más precisas.