

1.1 INTRODUCCIÓN

El filler en mezclas asfálticas aglomera los distintos elementos del árido proporcionando la cohesión necesaria para aumentar la rigidez del material. Dicho filler (material que pasa el tamiz N° 200) posee ciertas características fundamentales que influyen en su comportamiento dentro de la mezcla como su mineralogía, forma y tamaño de sus partículas.

La adición de llenante mineral al asfalto es una de las modificaciones que se hace para mejorar las características de éste, debido a comportamientos poco favorables en los pavimentos, su estado normal provoca en ocasiones fallas en carpetas asfálticas.

La mineralogía del filler, como la de todos los agregados, es uno de los factores más importantes en el comportamiento de una mezcla asfáltica, es importante conocer los minerales que componen el llenante para determinar la influencia que tienen en la rigidez de las mezclas. Al igual que el tamaño y forma de las partículas de filler, aunque por facilidad siempre se ha utilizado el suelo que pasa el tamiz N°200, es interesante saber cómo influye el cambio de tamaño y forma de las partículas de filler, separándolas con tamices de diferentes diámetros. Este cambio puede ocasionar pequeñas alteraciones en la rigidez del asfalto que son importantes al momento de ser estudiados.

El trabajo presenta un estudio acerca de la influencia que tiene la variación del filler laterítico en las mezclas asfálticas.

Los materiales considerados para la investigación son los cementos asfálticos CA 85-100 y áridos procedentes ambos de la alcaldía municipal ubicada en la comunidad de la pintada, además de suelo laterítico que se extraerá de la zona de Bermejo y de Chorcoya.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La constante búsqueda del hombre por mejorar las condiciones de transitabilidad por las vías hace que se planteen la colocación de carpetas de rodadura que sean resistentes y duraderas tanto a los agentes de intemperismo como a los esfuerzos transmitidos por las cargas del tránsito, Es por ello que la composición de los materiales y la calidad de los mismos juega un papel importante para que se puedan conseguir las características deseadas del pavimento: seguridad, comodidad y resistencia. De esta forma y conoedores de las constantes variaciones en los factores climáticos, se espera a través de esta investigación la obtención de una mezcla asfáltica con mejor comportamiento mecánico a través de la variación de las características granulométricas.

De hecho, además del empleo de asfaltos modificados y de áridos de buena calidad, la adición de un filler apropiado ha sido otra de las razones del avance tecnológico de las mezclas con granulometría discontinua, que ganaron confiabilidad con el transcurso de los años.

En zonas de climas cálidos como son las regiones del chaco existen bancos de suelos lateríticos, suelos finos caracterizados por su color que va de rojo a naranja de baja plasticidad y con alto contenido de hierro, que al endurecer presenta alta resistencia y que podrían proporcionar la cohesión necesaria a la mezcla al ser utilizados como filler haciendo variar de manera satisfactoria las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Lo que se pretende obtener es que las propiedades de la mezcla asfáltica no sean menores al utilizar diferentes porcentajes de filler laterítico y si estas propiedades llegasen a bajar en que porcentaje para dar una recomendación sobre su utilización.

1.3 DISEÑO TEÓRICO

1.3.1 Determinación del Problema

1.3.1.1 Situación problemática

Muchas capas bituminosas de rodadura fallan por problemas asociados al daño por envejecimiento antes que por las sollicitaciones impuestas por los vehículos.

Frente a esta problemática se han intentado soluciones en el diseño que consisten frecuentemente en aumentar el contenido de asfalto en las mezclas para lograr una película de ligante de mayor espesor envolviendo a los áridos y reducir el porcentaje de vacíos.

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

Esto nos lleva a pensar e investigar otros tipos de materiales a ser utilizados como filler y a variar de manera correcta los porcentajes a utilizarse, para mejorar el comportamiento mecánico y darle mayor durabilidad a la mezcla asfáltica.

En nuestro medio y de manera general utilizamos filler proveniente de la trituración de rocas o chancado, y no se considera el uso de nuevos materiales como fillers, así de esta manera probar nuevas alternativas para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas.

Este trabajo de investigación parte del interés de averiguar qué efecto tendrá el filler obtenido de un suelo laterítico, puesto que dicho suelo podría ser provechoso

ya que tiene características particulares como su alto contenido de hierro que podrían densificar la mezcla asfáltica y así mejorar su comportamiento mecánico.

1.3.1.2 Problema

Los problemas e inquietudes ya mencionadas nos conducen a hacernos una pregunta:

¿Cuál es el efecto que tiene la estabilidad Marshall y fluencia cuando a la mezcla asfáltica se le agrega filler de origen laterítico?

1.3.2 Objetivos

1.3.2.1 Objetivo general

Elaborar una mezcla asfáltica con filler de origen laterítico y de esta manera llegar a saber los efectos que este tipo de filler tiene en el comportamiento mecánico de la misma.

1.3.2.2 Objetivos específicos.

- Ubicar las zonas de estudio donde existan materiales de tipo laterita, se definirán como mínimo 4 puntos.
- Caracterizar el material de investigación a ser usado como filler en este caso el suelo laterítico para la conformación de una mezcla asfáltica. La caracterización será a través de ensayos de límites de Atterberg y peso específico.
- Caracterización del material a ser utilizado como agregado los ensayos a realizarse serán: granulometría, equivalente de arena, peso específico del árido grueso, peso específico del árido fino, método para medir el desgaste mediante la máquina de los Ángeles.
- Caracterizar el cemento asfáltico a utilizar en la investigación con ensayos de penetración, ductilidad, punto de inflamación y peso específico.

- elaborar dos mezclas asfálticas adicionales, una con filler polvo de roca y otra sin filler.
- Establecer mediante el ensayo de Marshall el contenido óptimo de asfalto en base al mismo se trabajara con los diferentes porcentajes de filler laterítico
- Comparar el porcentaje de vacíos y el comportamiento mecánico de los tres tipos de mezclas asfálticas.
- Obtener los resultados para los diferentes porcentajes de filler laterítico utilizados en la mezcla asfáltica y con ello realizar análisis de los resultados.

1.3.3 Hipótesis

Si, elaboramos una mezcla asfáltica con filler de origen laterítico, entonces se podrá obtener una mezcla asfáltica optimizada en sus propiedades mecánico-resistentes en relación al tráfico para su comparación con las mezclas asfálticas convencionales.

1.3.4 Definición de Variables Independientes y Dependientes

1.3.4.1 Variable Independiente

- Filler de origen laterítico

1.3.4.2 Variable Dependiente

- Características mecánicas (estabilidad Marshall y fluencia)

1.3.4.3 Operacionalización y conceptualización de variables

- **Variable dependiente**

Tabla 1.2 Operacionalización y conceptualización de la variable dependiente

Variable nominal	Conceptualización	Dimensión	Operacionalización	
			Indicador	Valor acción y técnicas
características mecánicas(estabilidad y fluencia)	se refiere a la variación del comportamiento mecánico de acuerdo a los diferentes porcentajes de filler laterítico agregado en la mezcla asfáltica	comportamiento mecánico	estabilidad	carga máxima que soporta la mezcla asfáltica en (kg)
			fluencia	deformación (mm)

Fuente: Elaboración propia

- **Variable Independiente**

Tabla 1.2 Operacionalización y conceptualización de la variable dependiente

Variable nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor acción y técnicas
Filler de origen laterítico	Se refiere a los diferentes porcentajes y características de filler laterítico que se agregara a la mezcla asfáltica	Caracterización del material	Límites de Atterberg	casa grande
			Método para determinar la densidad real , la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos	gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia

1.3.4.4 Unidad de Observación (UO):

En este trabajo la unidad de estudio se centrará en el efecto que tendrá el filler laterítico en una mezcla asfáltica y de esta manera saber cómo influirá en el comportamiento mecánico.

1.4 DISEÑO METODOLÓGICO

1.4.1 Unidad de Estudio y Decisión Muestral

1.4.1.1 Unidad de estudio

En este trabajo la unidad de estudio se centrara en el efecto que tendrá el filler lateritico en una mezcla asfáltica y de esta manera saber cómo influirá en el comportamiento mecánico.

1.4.1.2 Población

La población usada dentro de la unidad de estudio es la mezcla asfáltica, es decir será todos los elementos que lo componen, es decir el agregado grueso, agregado fino, el cemento asfáltico.

1.4.1.3 Muestra

Filler de origen laterítico

1.4.1.4 Muestreo

Aleatorio probabilístico:

Consiste en obtener muestras de suelos de los bancos de préstamo, de tal manera cada una de dichas muestras tengan la misma probabilidad de ser elegidas para el trabajo, esto marcando un área de terreno donde se encuentren dichas muestras y elegir las aleatoriamente sin discriminación alguna.

Las muestras de suelos lateríticos serán tomadas de Bermejo y Chorcoya.

1.4.2. Métodos y Técnicas Empleadas

1.4.2.1. Experimentales

La realización del siguiente trabajo de investigación se plantea como:

Experimental; puesto que se realizan netamente ensayos de laboratorio para caracterizar y lograr valorar el efecto que tendrá el filler laterítico en una mezcla asfáltica.

1.4.2.2. Experimento

Se realizan ensayos de caracterización a todos los materiales, tales como:

Ensayos a realizarse para el cemento asfáltico

- Ensayo para determinar la ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T 51).
- Ensayo de penetración (ASTM D 5 AASHTO T 49).
- Ensayo para determinar la densidad (ASTM D 71 AASHTO T229).
- Ensayo para determinar el punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310 AASHTO T 79).

Ensayos a realizarse para los agregados

- Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM E 40 AASHTO T27).
- Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176).
- Método para determinar el desgaste mediante de la Máquina de los Ángeles (ASTM E 131 AASHTO T 96).
- Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM E 127 ASSTHO T85).
- Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128 ASSTHO T84).

Ensayos a realizarse en el filler laterítico

- Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128 ASSTHO T84).
- Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318 AASHTO T89).
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4315 AASHTO T90).

1.4.2.3. Plan de trabajo

El porcentaje de filler recomendable según las especificaciones sugieren hasta 5% y para fines investigativos se procederá a hacer variar entre los porcentajes de 3%, 4%, 5% y 6%. Dichos porcentajes serán variados en el laboratorio. Con el criterio asumido se procederá a realizar la fabricación de mezclas asfálticas en caliente, adicionando filler laterítico, cuyas propiedades a medir y analizar serán mediante el ensayo Marshall que mide lo siguiente:

- Estabilidad
- Fluencia
- % Vacíos

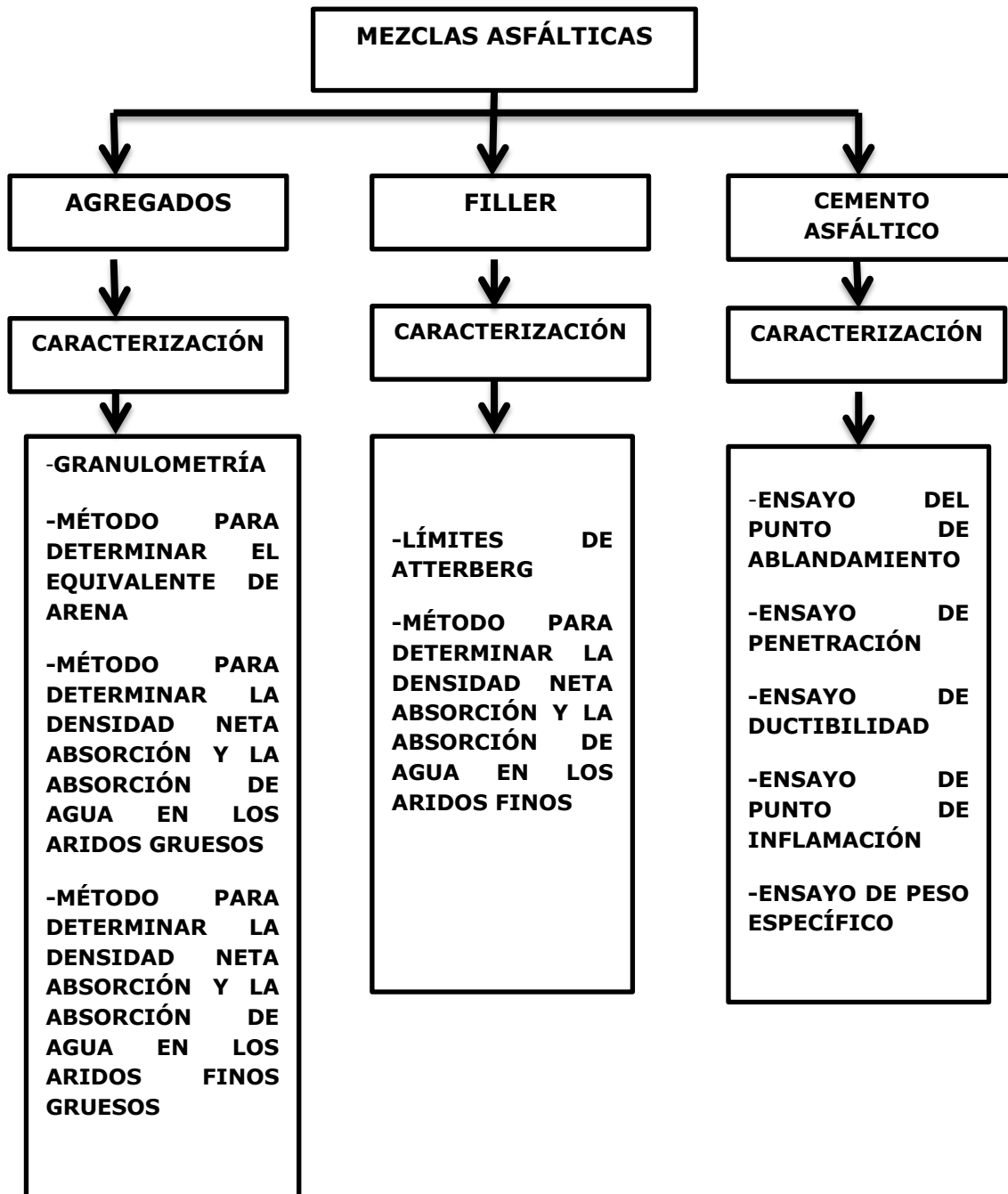
Modo de aplicación:

Se variará el porcentaje de filler laterítico en las mezclas asfálticas, en diferentes porcentajes realizando 3 especímenes para cada (%) de filler laterítico adicionado de esta manera obtendremos representatividad en los especímenes analizados, realizando 3 ensayos por cada variación de porcentaje, el número óptimo confiabilidad en los resultados, de esta manera como se tomó muestras de suelo laterítico de cuatro puntos diferentes se realizaran un total de 48 briquetas de mezclas asfálticas con filler de origen laterítico , 3 briquetas de mezclas asfálticas sin filler y 12 briquetas de mezclas asfálticas de filler convencional de polvo de roca, estas mismas serán comparadas y evaluadas .

Los áridos triturados serán obtenidos de la planta asfaltadora ubicada en la comunidad de la Pintada perteneciente a la Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija, para su caracterización.

De igual manera el cemento asfáltico se obtendrá de la Alcaldía Municipal de la Provincia Cercado y mediante los ensayos de laboratorio se caracterizará el cemento asfáltico 85-100.

Esquema 1.1: Análisis de plan de trabajo inicial para la obtención de datos



Fuente: Elaboración Propia

En las siguientes tablas se muestra en detalle el número ensayos a realizarse:

Tabla 1.3: Caracterización del agregado

Caracterización del agregado	
Ensayos a realizar	N°
Granulometría	3
Método para determinar el equivalente de arena	3
Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles	1
Método para determinar la densidad real , la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos	3
Método para determinar la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos	3

Elaboración Propia

Tabla 1.4: caracterización del filler

Caracterización del filler	
Ensayos a realizar	N°
Límites de atterberg	3
Método para determinar la densidad real , la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos	3

Elaboración Propia

Tabla 1.5: Caracterización del cemento asfáltico

Caracterización del cemento asfáltico	
Ensayos a realizar	N°
Punto de ablandamiento	2
Penetración	3
Ductilidad	3
Punto de inflamación	3
Peso específico	3

Elaboración Propia

Detalle de la investigación:

- Mezclas asfálticas sin filler

Se elaborarán 3 briquetas con mezclas asfálticas sin filler, cuyo cemento asfáltico será 85-100, estas briquetas representarán el patrón, con lo cual procederemos a comparar y evaluar estadísticamente como ondulan y varían las propiedades de fluencia y estabilidad de los ensayos analizados.

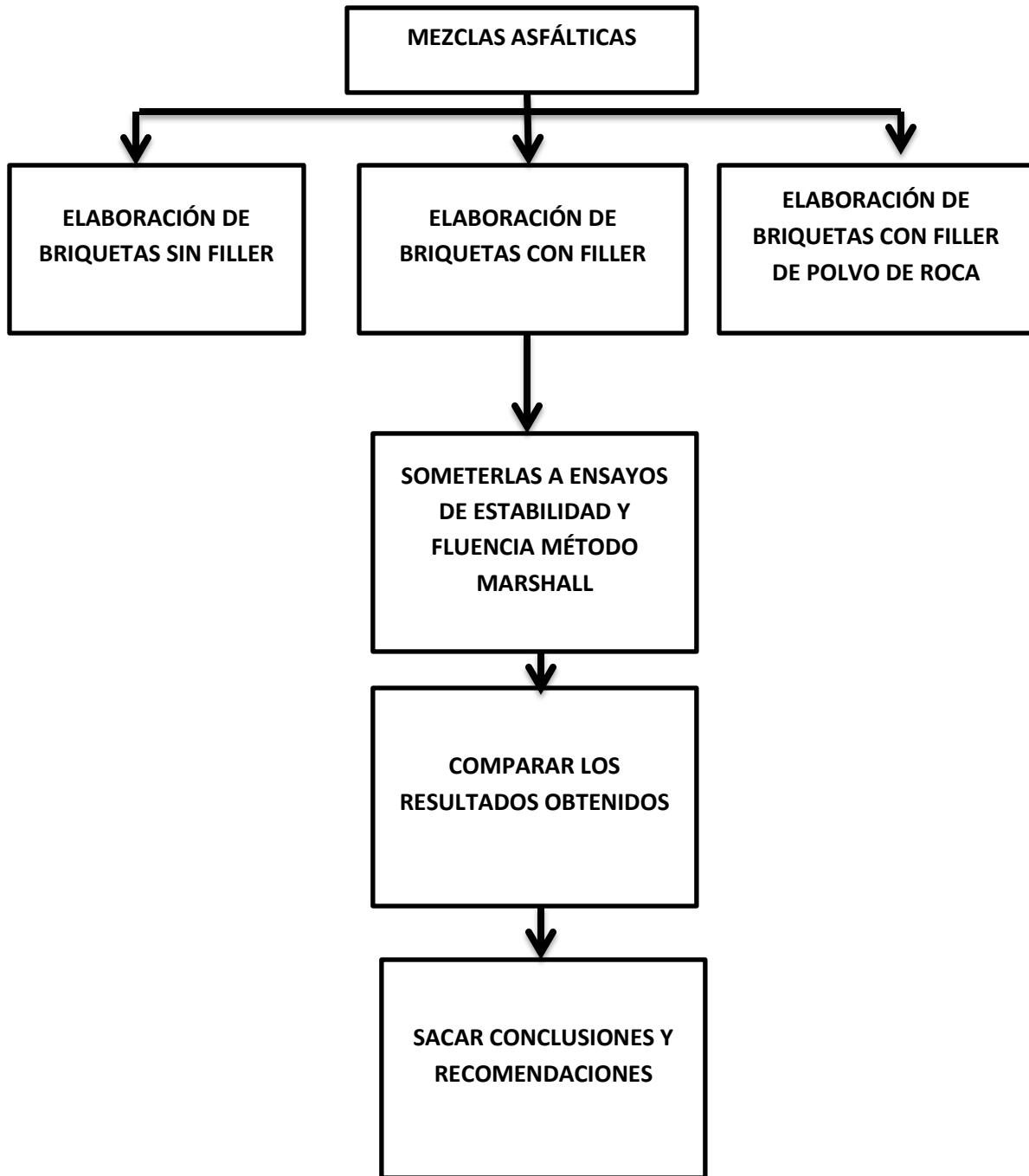
- Mezclas asfálticas con filler laterítico

Se elaborarán 3 briquetas de mezclas asfálticas para cada porcentaje de filler laterítico extraído de cuatro puntos diferentes y por cada punto los porcentajes serán (3%,4% ,5% y 6%) es decir que por cada punto se harán 12 briquetas haciendo un total de 48 briquetas.

- Mezclas asfálticas con filler convencional (polvo de roca)

Se fabricarán 3 briquetas por cada porcentaje de filler a adicionarse a la mezcla asfáltica. Los porcentajes serán de (3%,4% ,5% y 6%).

Esquema 1.2: Análisis de plan para la elaboración de briquetas con mezclas asfálticas



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 1.6: Detalle del número de briquetas a realizarse

Briquetas a realizarse			
Briquetas	Porcentajes	N°	
Porcentajes para el contenido óptimo de cemento asfáltico sin filler	4.5% ; 5 %; 5.5% 6% ; 6.5%	15	
Sin filler		3	
Con filler de origen laterítico proveniente de	Chorcuya Méndez	3% ;4%; 5%;6%	12
	Chorcuya Avilés	3% ;4%; 5%;6%	12
	Comunidad el 9 de Bermejo	3% ;4%; 5% ; 6%	12
	Comunidad el 9 de Bermejo frente al ingenio	3% ;4%; 5% ; 6 %	12
Con filler polvo de roca	3% ;4%; 5% ;6%	12	
Total de briquetas a realizarse		78	

Fuente: Elaboración Propia

1.5. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de investigación para esta tesis se refleja en un trabajo netamente de laboratorio ya que se procura valorar la variación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente al aplicar diferentes porcentajes de filler de origen laterítico extraído de cuatro puntos diferentes de la ciudad de Tarija:

- Comunidad 9 de Bermejo
- Comunidad el 9 de Bermejo frente al ingenio
- Chorcoya Méndez
- Chorcoya Avilés.

El tiempo empleado en realizar la investigación es de aproximadamente 3 meses donde utilizaremos los laboratorios de suelos y asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, en donde se realizará todos los respectivos ensayos de caracterización de los materiales y la obtención de datos para la presente investigación.

2.1 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una mezcla asfáltica se compone de material pétreo, mezclado con asfalto. El material pétreo, comúnmente llamado “agregado” se clasifica en; agregado grueso, agregado fino y rellenedor mineral (filler).

Las mezclas asfálticas son utilizadas en la construcción de pavimentos, ya sea en capas de rodadura o capas inferiores y su función es proporcionar una superficie cómoda segura y económica en las vías para facilitar la circulación de vehículos sobre esta. También se conocen como concreto asfáltico a la combinación del agregado y cemento asfáltico, mezclados mientras se mantiene una temperatura determinada, aproximadamente de 135°C a 185°C, que garantice la máxima adherencia del asfalto con las partículas de agregado.

2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados, y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de betún asfáltico en volumen de agregados pétreos.

2.2.1 Materiales utilizados para las mezclas asfálticas en caliente

- **Asfalto:** el asfalto realiza la función de ligante en la mezcla asfáltica, este puede ser de origen natural o modificado y su función es aglutinar las partículas de agregados. Son considerados como los ideales en la pavimentación debido a sus propiedades físicas como la durabilidad , flexibilidad y alta resistencia con los ácidos , sales y alcoholes

Existe una serie de asfaltos clasificados de acuerdo a su aplicación, entre los que se encuentran los modificados, los cuales se alteran con el fin de obtener mayor durabilidad y elasticidad en las mezclas. Un ejemplo de asfalto modificado son los masticos o masticos bituminosos.

- **Agregado mineral:** los agregados minerales son materiales triturados de varios tamaños, los cuales están encargados de proporcionar resistencia y rigidez a la mezcla. El agregado constituye entre el 90 y el 96% en peso y entre el 75 y 85 % en volumen de la totalidad de la mezcla-
- **Aire:** El aire corresponde a los vacíos de la mezcla asfáltica
- **Filler o llenante mineral:** Es el material fino (Pasa N°. 200) que mezclado con el asfalto conforman el mastico encargado de proporcionar cohesión, a través de este se mantiene unido el esqueleto mineral y es el principal responsable de la impermeabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica.

2.3 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.3.1 Estabilidad

La estabilidad es la capacidad que tiene el pavimento Para resistir las deformaciones producidas por las cargas del tráfico. Una mezcla asfáltica inestable produce canalizaciones y ondulaciones en el pavimento.

Figura 2.1: Estabilidad



Fuente: Elaboración propia

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

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

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

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

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

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

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el Pavimentos.

Tabla 2.1 Causas y Efectos De Inestabilidad en el Pavimento

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones ,ahullamientos y afloramientos o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin , o son pocas superficies trituradas	Ahullamiento y canalización

Fuente: elaboración propia

2.3.2. Durabilidad

La durabilidad es la habilidad de la mezcla asfáltica para resistir la desintegración por efecto del desgaste y las cargas de tráfico. La durabilidad aumenta incrementando el contenido de asfalto, utilizando granulometrías densas y logrando altos grados de compactación en el terreno.

Figura 2.2: Durabilidad



Fuente: Elaboración propia

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

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

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

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración

bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

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

Tabla 2.2.Causas y Efectos de la Poca Durabilidad

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

Fuente: elaboración propia

- **Resistencia a la fatiga**

Es la resistencia que poseen los pavimentos a los esfuerzos repetitivos, sin fisurarse, causados por las cargas de tráfico.

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

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

Tabla 2.3. Causas y Efectos de una mala Resistencia a la Fatiga

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Fuente: elaboración propia

2.3.4. Resistencia al deslizamiento

Es la fuerza desarrollada entre la superficie del pavimento y neumáticos, que estando impedidos de rotar, se deslizan a lo largo de la superficie

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

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño

máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

Tabla 2.4. Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento

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

Fuente: elaboración propia

Figura 2.3: resistencia a la fractura



Fuente: Elaboración propia

2.3.5. Impermeabilidad

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

Figura 2.4: permeabilidad



Fuente: Elaboración propia

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

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

Tabla 2.5. Causas y Efectos de la Permeabilidad

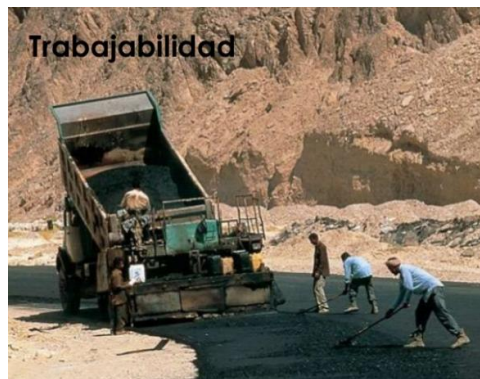
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causaran tempranamente un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad

Fuente: Elaboración propia

2.3.6. Trabajabilidad

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

Figura 2.5: Trabajabilidad



Fuente: Elaboración propia

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

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

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y

rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

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

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

Tabla 2.6.Causas y Efectos de Problemas en La Trabajabilidad

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partículas: grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, déficit de manejar poco durable

Fuente: Elaboración Propia

2.3.7. Flexibilidad o rigidez

Es la capacidad que poseen las mezclas asfálticas para sufrir deformaciones a causa del tráfico sin fisurarse. Los pavimentos serán más flexibles cuando mayor sea su

resistencia a las deformaciones elásticas, para lo cual se recomienda el empleo de ligantes de alta viscosidad.

La flexibilidad o rigidez es la relación entre la fuerza aplicada y la deformación producida, esta debe estar dentro de unos rangos aceptables para que no se produzca deformaciones y fisuras en los pavimentos ocasionados por el tráfico diario de los vehículos.

Figura 2.6 flexibilidad



Fuente: Elaboración propia

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

2.4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

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

- Suficiente asfalto para asegurar durabilidad.
- Suficiente estabilidad para satisfacer las demandas de tráfico sin distorsión o desplazamientos.

- Suficiente manejabilidad para permitir la colocación de la mezcla sin segregación.
- Los materiales propuestos a usarse satisfagan los requisitos de las especificaciones del proyecto.
- Las combinaciones de agregados satisfagan la granulometría requerida en las especificaciones.
- Los pesos específicos de todos los agregados usados y el peso específico del asfalto sean determinados para poderse usar en los análisis de densidad y vacíos.

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

2.4.1 Método de diseño Marshall

Metodología el concepto de metodología para diseño de mezclas de pavimentación fue formulada por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del departamento de autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de estados unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoro y adiciono ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas.

El método original de Marshall, solo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25mm (1”) o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38mm (1.5”). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall, utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64mm (2 ½”) y 103mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad –análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollara a 60°C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25mm (1/100”) que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

2.4.1.1 Granulometría

La metodología Marshall utiliza una gráfica semi logarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), las líneas de control son puntos de paso obligatorio para la curva granulométrica. La tabla 2.7 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.

Tabla 2.7 Graduaciones Propuestas Para Mezclas Cerradas

Abertura de malla	Mezclas cerradas								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2in (50 mm)	1 ½ in (37,5 mm)	1 in (25,0 mm)	¾ in (19,0 mm)	½ in (12,5 mm)	3/8 in (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)	No. 8 (2,36 mm)	No. 16 (1,18 mm)
Graduaciones para mezclas de agregados (grueso, fino y filler)									
2 ½ in. (63mm)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
2 in. (50mm)	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...	...
1 ½ (37,5mm)	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...
1 in. (25,0 mm)	60 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...
¾ in. (19,0mm)	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...
½ in. (12,5mm)	35 - 65	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...
3/8 in. (9,5mm)	...	...	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...
No. 4 (4,75mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	...	100
No. 8 (2,36mm)	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	...	95 - 100
No. 16 (1,18mm)	...	...	...	...	...	...	40 - 80	...	85 - 100
No. 30 (600 µm)	...	...	...	...	...	...	35 - 65	...	70 - 95
No. 50 (300 µm)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	...	45 - 75
No. 100 (150 µm)	...	...	...	...	...	...	3 - 20	...	20 - 40
No. 200 (75 µm)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	...	9 - 20
Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
	2 - 7	3 - 8	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

Fuente: The Asphalt Instituto

2.4.1.2 Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se discuten en este capítulo. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitara hacer ajustes o rediseñar la mezcla

Tabla 2.8. Criterios de diseños de mezclas Marshall

Método Marshall	Trafico ligero Carpeta y base		Trafico ligero Carpeta y base		Trafico ligero Carpeta y base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Criterios de mezcla						
Compactación, numero de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	—	1200	—	1800	—
Flujo,(0.25mm)(0.01in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas

Tabla 2.9 Mínimo Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje de diseño de vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	N°16	21.5	22.5	23.5
2.36	N°8	19.0	20.0	21.0
4.75	N°6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	½	13.0	14.0	15.0
19	¾	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

Fuente: Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas

2.4.1.3 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño

Cuando se desarrolla una mezcla de diseño, es frecuentemente necesario hacer varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios de diseño. Cada una de las mezclas de prueba sirve como una guía para evaluar y ajustar las pruebas siguientes. Para diseño de mezclas preliminares o exploratorias, es aconsejable comenzar con una graduación de agregado que se acerque a la media de los límites establecidos. Las mezclas de pruebas iniciales sirven para establecer la fórmula de trabajo y verificar que graduación de agregado dentro de los límites especificados puede ser reproducida en una planta mezcladora.

Cuando las mezclas de pruebas iniciales fallan con los criterios de diseño en cualquier contenido de asfalto seleccionado, será necesario modificar, en algunos casos, rediseñar una mezcla es a cambiar la graduación de los agregados ajustando los porcentajes utilizados. Frecuentemente este ajuste es suficiente para cumplir con las especificaciones. Si el ajuste de los porcentajes no es suficiente, se deberán realizar serias consideraciones.

Existen lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba, aunque estas sugerencias no funcionan en todos los casos:

- **Vacíos bajos y estabilidad baja**

Los vacíos pueden incrementarse en diferentes formas. Como un acercamiento general para lograr vacíos altos en el agregado mineral (en consecuencia proveer de suficientes espacios, para una adecuada cantidad de asfalto y vacíos de aire), la graduación del agregado debe ajustarse mediante la adición de más agregado grueso o fino.

Si el contenido de asfalto es más alto de lo normal y el exceso no es necesario para remplazar al absorbido por el agregado, entonces el contenido de asfalto deberá reducirse a fin de incrementar el porcentaje de vacíos, proveyendo un adecuado VMA. Se deberá recordar que disminuir el porcentaje de asfalto podrá tener a bajar la durabilidad del pavimento. Demasiada reducción en el contenido de asfalto puede ocasionar fracturación, oxidación acelerada e incremento de la permeabilidad. Si los ajustes anteriores no producen una mezcla estable, el agregado tendrá que cambiarse. Es también posible mejorar la estabilidad e incrementar el contenido de vacíos en el agregado de la mezcla, mediante el incremento del agregado grueso o reducción de la cantidad de material que pasa la malla N°200 con la incorporación la estabilidad de la mezcla.

- **Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria**

Bajos contenidos de vacíos pueden eventualmente resultar en inestabilidad debido a flujo plástico o después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo de tiempo ante la reorientación de las partículas y compactación adicional.

Por otra parte, insuficientes vacíos pueden ser producto de la cantidad requerida de asfalto para obtener una durabilidad alta en mezclas finas; sin embargo, la estabilidad es inicialmente satisfactoria por el tránsito específico. Una degradación de agregado

pobre durante la producción de la mezcla y/o bajo la acción de tránsito puede ocasionar subsecuentemente inestabilidad y flujo si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente. Por estas razones, mezclas con vacíos bajos tendrán que ajustarse por uno de los métodos dados, en el inciso anterior sin importar que la estabilidad inicial sea satisfactoria.

- **Vacíos satisfactorios y estabilidad baja**

La baja estabilidad cuando los vacíos y la graduación del agregado son satisfactorios, puede indicar algunas deficiencias en el agregado. Se deberán tomar consideraciones para mejorar la forma de la partícula de los agregados utilizando material producto de trituración o incrementando el porcentaje de agregado grueso en la mezcla o posiblemente aumentando el tamaño máximo del agregado. Partículas de agregado con textura rugosa y superficies menos redondeadas presentan más estabilidad cuando se mantiene o incrementa el volumen de vacíos.

- **Vacíos altos y estabilidad satisfactoria**

Altos contenidos de vacíos se asocian frecuentemente con mezclas con alta permeabilidad; al permitir la circulación de aire y agua a través del pavimento pueden ocasionar endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o posible desprendimiento del asfalto en el agregado. Aun cuando la estabilidad es satisfactoria, se deben realizar ajustes para reducir los vacíos. Pequeñas reducciones se lograrán mediante la adición del polvo mineral a la mezcla. Podría ser necesario seleccionar o combinar agregados para lograr una graduación, la cual deberá estar cerca de la curva de máxima densidad

- **Vacíos altos y estabilidad baja**

Se deberán en cuenta dos pasos para este tipo de condiciones; el primero es ajustar el volumen de vacíos mediante los métodos discutidos en los puntos anteriores; y en el

segundo, si los ajustes no mejoran la estabilidad, deberá hacer una consideración de la calidad de los materiales.

2.4.1.4 Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

- **Determinación de la gravedad específica**

La prueba de gravedad específica puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado en un cuarto de temperatura. Esta prueba se desarrolla de acuerdo con la norma ASTM D1188, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas utilizando superficies saturadas de especímenes secos.

Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizarán pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la norma ASTM D1188, en caso contrario, se recurre a la norma ASTM D2726

- **Prueba de estabilidad y flujo**

Después de que la gravedad específica se ha determinado, se desarrolla la prueba de estabilidad y flujo, consiste en sumergir el espécimen en un baño María a $60^{\circ}+1^{\circ}\text{C}$ ($140^{\circ}\text{F}+ 1.8^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

Con el equipo de prueba listo, se removerá el espécimen a una deformación constante de 51mm (5") por minuto, hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse con el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que la prueba de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor del flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25mm (1/100") será el valor del flujo Marshall

- **Análisis de densidad y vacíos**

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se realiza el análisis de densidad vacío para cada serie de especímenes de prueba.

Resulta conveniente determinar la gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente aquellos que estén cerca del contenido óptimo asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica del total del agregado se calcula de estos valores.

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (V_a); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)

2.5. PREPARACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Al preparar una mezcla asfáltica debe controlarse debidamente, la granulometría del material pétreo y el porcentaje de asfalto a emplearse.

Es necesario que el material pétreo o “agregado” tenga una buena resistencia (porcentaje de desgaste, según la prueba de los “Ángeles”, menor del 40%) y este bien gradado. La granulometría que debe tener el material pétreo dependerá del tipo de asfalto y de la mezcla a emplearse.

Una vez seleccionado el material pétreo, se mezclara este con diferentes porcentajes de asfalto.

Como una primera aproximación para calcular el porcentaje de asfalto a utilizarse en una mezcla, puede emplearse la siguiente relación empírica propuesta por el instituto de asfalto de los E.U. de N.A.:

Tabla 2.10 para calcular el porcentaje de asfalto a utilizarse en la mezcla

$$P = 0.035a + 0.045b + 0.15c + F, \text{ cuando } 11 - 15\% \text{ pasa el tamiz N}^\circ 200$$

$$P = 0.035a + 0.045b + 0.18c + F, \text{ cuando } 6 - 10\% \text{ pasa el tamiz N}^\circ 200$$

$$P = 0.035a + 0.045b + 0.20c + F, \text{ cuando } 5\%, \text{ o menos pasa el tamiz N}^\circ 200$$

Fuente: The Asphalt Institute

Donde:

P = Porcentaje de asfalto, por peso, del total de la mezcla

a = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N°8

b = Porcentaje del material que pasa el tamiz N°8 y queda retenido en el tamiz N° 200

c = Porcentaje del agregado que pasa el tamiz N° 200

Para los asfaltos líquidos del grado SC-2, el coeficiente “ a ” deberá reducirse a 0.02.

Para los asfaltos líquidos más pesados, deberán usarse valores comprendidos entre 0.02 y 0.035, dependiendo de la cantidad de asfalto residual.

El valor de F varía de 0 a 1.5% y ocasionalmente, deberá usarse, únicamente, cuando el agregado es muy poroso. Generalmente, el F , está comprendido entre 0.7 a 1%.

La fórmula dada conocer anteriormente, deberá usarse, únicamente cuando no haya posibilidad de contar con un equipo de laboratorio para determinar la cantidad de asfalto a emplearse en el diseño de una mezcla.

2.6. ELECCIÓN DEL FILLER ADECUADO

En el momento de aplicación del filler deberá estar seco y exento de grumos. El

material que pasa el tamiz N°200 sea el polvo mineral deberá cumplir con la

siguiente regla: más del 50% deberá hacerlo por tamizado en seco con relación a la vía húmeda. El polvo mineral deberá ser no plástico o de baja plasticidad.

- Fillers de asbestos no son adecuados para aplicaciones en la cual la mezcla es utilizada como sellante o un protector en continuo contacto con un líquido, debido a que las fibras de asbestos pueden transportar el líquido a través del asfalto
- Fillers que pueden absorber agua no deben ser utilizados cuando el asfalto está en contacto con el agua.
- Si el asfalto va ser utilizado como un proyectivo resistente a los ácidos, los fillers deben ser sílices
- El uso de cal como filler mejora la adhesión del asfalto a las superficies minerales (piedra, vidrio, etc.) en presencia de agua.

2.7 EFECTO DEL FILLER COMO COMPONENTE DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

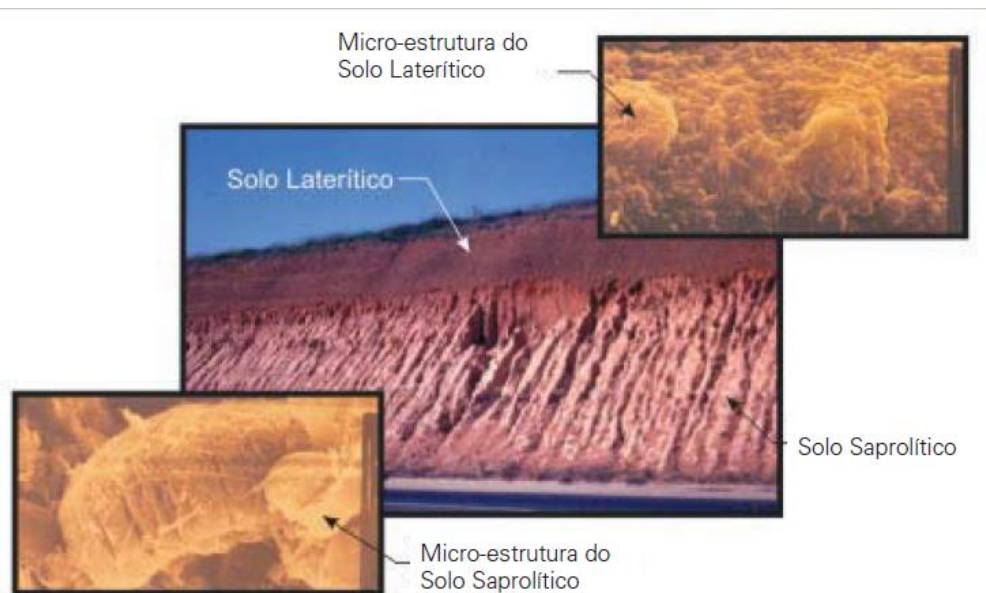
- Uno de los principales efectos que tiene el llenante mineral sobre los pavimentos es el aumento considerable de la durabilidad debido a que se reduce el contenido de vacíos y disminuye la penetración del agua a las capas.
- Al incrementarse el contenido de llenante aumenta la estabilidad de la mezcla hasta unos valores máximo, perdiendo luego la estabilidad gradualmente.
- Un aumento excesivo de llenante es la mezcla asfáltica también genera problemas en su comportamiento, consigue que el pavimento se endurezca demasiado y consecuentemente se vuelva frágil ocasionando fisuras en la capa asfáltica
- En la caracterización físico-química del filler, el factor más significativo es la intensidad de absorción, esta depende del tipo de filler principalmente, sus características como la composición mineralógica, características estructurales, textura entre otras.

2.8 SUELOS LATERÍTICOS

La laterita es el suelo propio de las regiones cálidas, caracterizado por la pobreza en sílice y su elevada cantidad de hierro, y otros minerales. Las costras lateríticas se deben a la meteorización de la capa superficial del suelo, es decir, a la acción in situ de los agentes meteorológicos (lluvia, insolación, viento, acción de los seres vivos, etc.).

Con el pasar de los años muchísimas fueron las publicaciones sobre este material encontrado en las áreas tropicales de África, Asia y Sudamérica, pero a medida que crecía en popularidad entre los investigadores e ingenieros también se hacía cada vez más confuso el límite del tipo de suelo que podía denominarse laterita o que era este específicamente.

Fig 2.7: Suelo lateríticos



Fuente: Pavimentos de bajo costo en zonas urbanas (2009)

Varias peculiaridades se asocian al proceso de laterización, siendo desde el punto de vista tecnológico el más importante, la riqueza de esos suelos en aluminio y hierro que se caracterizan por la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio; el

hierro que en pequeñas cantidades es lixivializado por el agua subterránea, luego es oxidado.

No existiendo ninguna relación en el término usado por los geólogos, ingenieros y podólogos, sobre la definición del término lateríticos y su aplicación un determinado tipo de suelo, la asociación internacional de geoquímica y cosmoquímica y la Unesco, formaron grupos de trabajo para uniformizar los conceptos y comprender mejor su origen, su distribución y propiedades. Como resultado de ellos, en 1980 se expuso una moderna definición de laterita: “acumulaciones superficiales o subsuperficiales de productos provenientes del intenso intemperismo de rocas, desarrolladas en condiciones favorables a una mayor movilidad de los elementos alcalinos, alcalino terrosos y sílice, e inmovilización de Hierro y aluminio”.

En 1977, el investigador segundo melfi, al confirmar la definición anterior, de que las lateritas fueron formadas a partir de un único proceso, pueden englobar varios tipos, dependiendo de la intensidad del proceso de intemperismo, puede variar de lugar a lugar, del tipo de material de origen y del tiempo de actuación del proceso.

Los suelos lateríticos pueden presentar propiedades físicas (color, naturaleza, dureza y consistencia), químicas, físico-químicas y mineralógicas (aluminosas, ferruginosas, manganesíferas, níquelíferas, etc.)Diferentes.

El movimiento freático de los niveles de agua conduce a la acumulación de óxidos de hierro, formando una capa de suelos comentados, generalmente semipermeables. Estos minerales se van endureciendo en presencia de aire formando suelos lateríticos, los cuales poseen una gradación que puede ir desde las gravas a las arcillas y una plasticidad de baja a media.

Varios procesos se asocian a los procesos de laterización, siendo desde el punto de vista tecnológico y más importante, el enriquecimiento de los suelos con suelos de óxidos hidratados de hierro y/o aluminio y la presencia de caolinita, como arcilla mineral predominante y casi siempre exclusivo. Estos minerales confieren a los

suelos de comportamiento laterítico la coloración típica: amarilla, roja, marrón y anaranjada.

2.8.1 Laterización e intemperismo

Las rocas primarias, cuando fueron expuestas a ambientes diferentes en los que fueron formadas, ambientes físicos y químicos que afectan a esas rocas cuando se encuentran en la superficie. Los efectos que se producen por la presencia de agua de lluvia, aguas subterráneas, gases ambientales, condiciones climáticas, temperatura, presión atmosférica y otros fenómenos que afectan la roca en la superficie, produciendo una transformación en ella de roca o suelo, con características químicas mineralógicas y físicas diferentes a la original. Esta transformación en la cercanía de la superficie que es un proceso irreversible, se conoce como intemperismo.

Laterización es un conjunto de complejas reacciones químicas, mineralógicas y bioquímicas interligadas (hidrolisis, hidratación, oxidación, disolución), actuando sobre rocas preexistentes expuestas en la superficie de la tierra. Las reacciones son provocadas por el contacto de las rocas con el medio ambiente del clima de la floresta tropical y sub-tropical alternando y finalizando con los periodos semi – áridos de la sabana que a lo largo del tiempo geológico transforman las rocas preexistentes en lateritas. La laterización es así un proceso geológico estrictamente dependiente de climas específicos, siendo sus rocas importantes registros paleo geográficos, paleo climáticos y paleobotánicas.

Las condiciones fundamentales para la formación de lateritas son la existencia de clima de floresta tropical lluviosa y sabana, con relativa estabilidad tectónica. Para la iniciación de los procesos lateríticos es necesario un clima de monzón tropical atenuado sobre las rocas aflorantes.

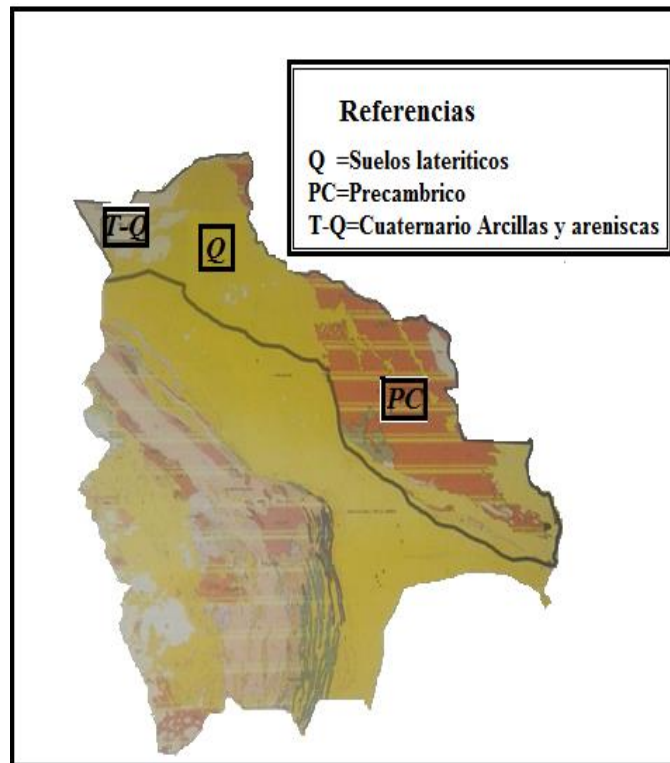
El desarrollo del perfil, con perfecta diferenciación en horizontes, exige el cambio de clima tropical a clima de sabana (semi-árido), dentro de la zona tropical. Las nuevas condiciones favorecen a la acumulación de hierro, la deshidratación y la formación de

costras. El cambio de clima de sabana se caracteriza por: amplitud térmica y prolongado periodo seco, de menos importancia de biomasa, con evaporación y precipitación balanceadas y distribuidas alternativamente. Estas condiciones afectan la acción química destructiva de la masa tropical y favorecen el alcance del equilibrio químico del perfil. Si fueran muy destructivas llevan a la destrucción física del perfil.

2.8.2 Suelos lateríticos en Bolivia

Los estudios realizados sobre suelos lateríticos en Bolivia se los ha hecho en la zona amazónica para ello se han apoyado en investigaciones y recopilación de datos de la región, considerando las tres cuencas fundamentales de los ríos que aportan en la región, como los tres mayores Beni, Mamoré e Iténez, así como los menores que tienen importante influencia y aporte, Itonama, Mapucho y Blanco, así como el aporte de autores que han contribuido en establecer características de comportamiento hidráulico, se considera que gran parte de la Amazonía ha permanecido cubierta durante periodos interglaciares del cuaternario por un mar interior de poca profundidad, cuando los niveles de los océanos tenían 100m, por encima de los actuales (330000 años atrás) y pasaron a fluctuar durante varias épocas glaciales e interglaciares, formando terrazas a lo largo de los cursos de agua, llegando a tener 100m, debajo del nivel durante la época de glaciación (17000 años atrás), quedando en estos canales profundos de los ríos, elevándose posteriormente a la cota actual (6000 años atrás), (Vertamatti, en 1988).

Figura 2.8: Suelos lateríticos en Bolivia



Fuente: Utilización de los suelos lateríticos, como firmes en la región norte del Beni
de Hugo Heriberto Padilla Monrroy

De esta manera podemos definir los suelos lateríticos en la amazonia, como suelos de coloración rojiza anaranjada debido a su contenido de hierro.

3.1. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

3.1.1. Extracción de suelo laterítico

La extracción de suelo laterítico, se la realizó de cuatro puntos diferentes de la ciudad de Tarija éstos son:

- Comunidad 9 de bermejo
- Comunidad el 9 de bermejo frente al ingenio
- Chorcoya Méndez
- Chorcoya Avilés

3.1.2. Selección de Agregado pétreo

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales para la realización de mezclas asfálticas, pero el criterio asumido para escoger el banco de materiales es que en el momento en el que se realizó la investigación, el único banco que producía agregados era la planta asfaltadora de la alcaldía, ubicada en la comunidad de la Pintada cuyo material es procedente de San Mateo.

3.1.3. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico que se usó fue el C.A. 85-100 con nombre Betunel de procedencia Brasileira, también proporcionado por la alcaldía municipal.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.2.1. Granulometría (ASTM E40 AASHTO T27-99)

La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de los áridos de diferentes tamaños.

Este método consiste en la determinación por tamices de la distribución del tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos. Para una gradación óptima, los agregados se separan mediante el tamizado, en dos o tres grupos de diferentes tamaños para las arenas, y en varios grupos de diferentes tamaños para los gruesos.

Se procedió a realizar el análisis granulométrico tanto del material grueso como del material fino de acuerdo a la Norma ASSHTO T-27. (Ver figura 3.1)

Imagen 3.1: Tamizado mediante el equipo de ROP-TAP



Fuente: Elaboración Propia

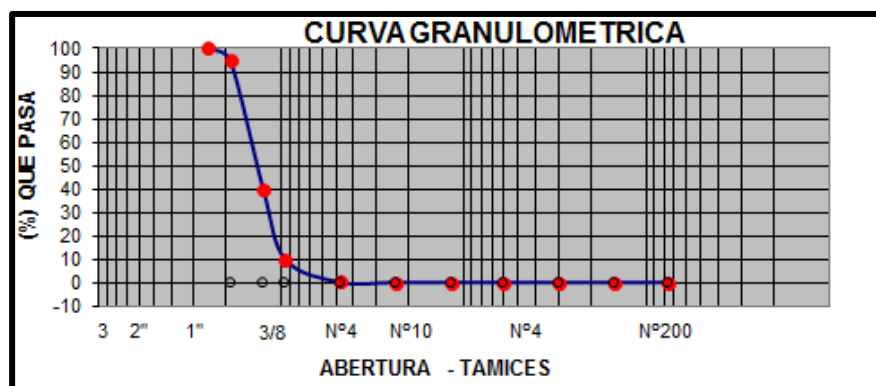
Resultados de la práctica:

Tabla 3.1: Granulometría del Agregado grueso (grava)

Peso total de la muestra tomada:			5000,00 gr.		% que pasa del Total
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (gr.)	Retenido Acumulado (gr.)	(%)	
1"	25	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,00	259,20	259,20	5,18	94,82
1/2"	12,50	2751,00	3010,20	60,20	39,80
3/8"	9,50	1485,50	4495,70	89,91	10,09
N°4	4,75	487,90	4983,60	99,67	0,33
N°8	2,36	2,90	4986,50	99,73	0,27
N°16	1,18	0,20	4986,70	99,73	0,27
N°30	0,60	0,30	4987,00	99,74	0,26
N° 50	0,30	0,30	4987,30	99,75	0,25
N° 100	0,150	0,50	4987,80	99,76	0,24
N° 200	0,075	0,90	4988,70	99,77	0,23
base		5,80	4994,50	99,89	0,11

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.1: Curva Granulométría del Agregado grueso



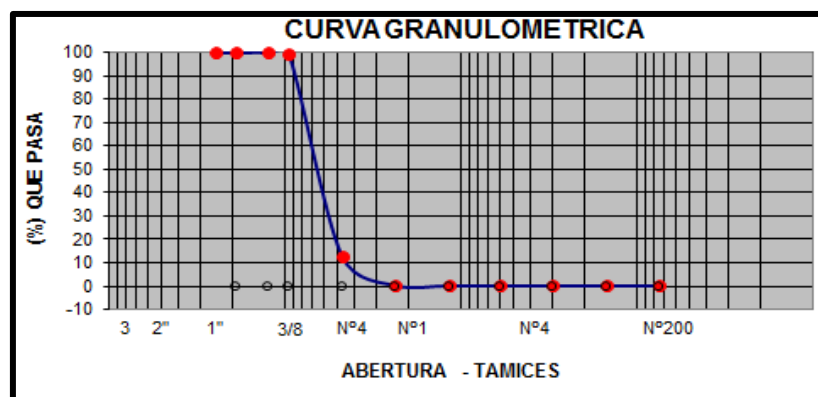
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.2: Granulometría del Agregado medio (gravilla)

Peso total de la muestra tomada:			5000,00 gr.		
Tamiz	Abertura	Retenido	Retenido Acumulado		% que pasa
	(mm)	(gr.)	(gr.)	(%)	del Total
1"	25	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	30,40	30,40	0,61	99,39
N°4	4,75	4325,10	4355,50	87,11	12,89
N°8	2,36	630,00	4985,50	99,71	0,29
N°16	1,18	6,50	4992,00	99,84	0,16
N°30	0,60	0,30	4992,30	99,85	0,15
N° 50	0,30	0,50	4992,80	99,86	0,14
N° 100	0,150	1,00	4993,80	99,88	0,12
N° 200	0,075	1,00	4994,80	99,90	0,10
base		5,20	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.2: Curva Granulométrica del Agregado medio gravilla



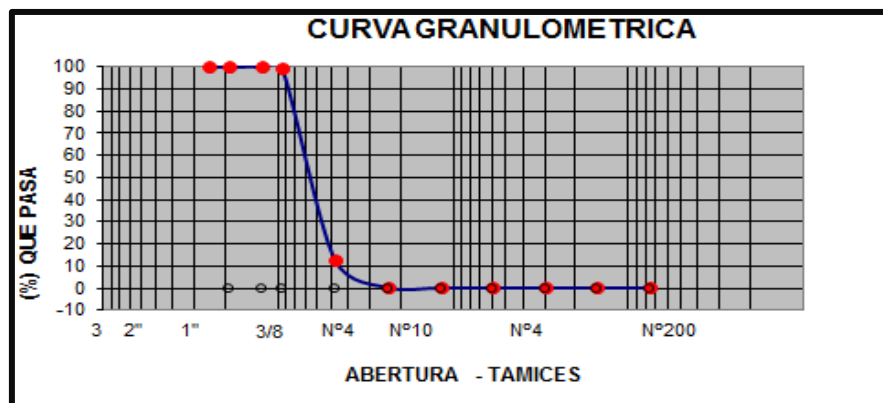
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.3: Granulometría del Agregado fino (arena)

Peso total de la muestra tomada:		3000,00 gr.			
Tamiz	Abertura	Retenido	Retenido Acumulado		% que pasa
	(mm)	(gr.)	(gr.)	(%)	del Total
1"	25	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	37,80	37,80	1,26	98,74
N°8	2,36	360,00	397,80	13,26	86,74
N°16	1,18	600,00	997,80	33,26	66,74
N°30	0,60	980,00	1977,80	65,93	34,07
N° 50	0,30	430,00	2407,80	80,26	19,74
N° 100	0,150	415,00	2822,80	94,09	5,91
N° 200	0,075	30,00	2852,80	95,09	4,91
base		60,00	2912,80	97,09	2,91

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.3: Curva Granulometría del Agregado fino (Arena)



Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Peso Específico del Agregado Grueso ASTM C-127 (Grava, Gravilla)

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregadas, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño. Para ello se realizó el ensayo con tres muestras, cada una de 5 Kg, tanto de grava como de gravilla, se siguieron los pasos como se muestra a continuación:

Procedimiento del ensayo:

Imagen 3.2: Lavar y dejar saturar con agua por 24 horas

El agregado retenido en el tamiz N°4



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.3: Secado superficial de la muestra saturada en agua.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.4: Peso del material superficialmente seco



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.5: Obtención del peso sumergido en agua.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.6: Secado de la muestra en el horno.



Fuente: Elaboración Propia

Cálculos:

Grava de 3/4

$$\text{Peso Específico a granel} = \frac{\text{Peso muestra seca}}{(\text{Peso Muestra Saturada de Superf. Seca} - \text{Peso Muestra sat. dentro del Agua})}$$

$$\text{Peso Específico a granel} = \frac{4974.73\text{gr}}{((5057.26\text{gr}) - 3062.37\text{gr})}$$

$$\text{Peso Específico a granel} = 2.49 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P. E. A. Saturado de Superficie Seca} = \frac{\text{Peso Muestra Saturada de Superf. Seca}}{(\text{Peso Muestra Saturada de Superf. Seca} - \text{Peso Muestra suspendida Agua})}$$

$$\text{P. E. A. Saturado de Superficie Seca} = \frac{5057.26\text{gr}}{((5057.26\text{gr}) - 3062.37\text{gr})}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = 2.54\text{gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{\text{Peso Material Seco}}{(\text{Peso Material Seco} - \text{Peso Muestra suspendida Agua})}$$

$$\text{Peso Específico aparente} = \frac{4974.73\text{gr}}{((4974.73\text{gr}) - 3062.37\text{gr})}$$

$$\text{Peso Específico aparente} = 2.60 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{\text{Peso muestra sat. sup. seca} - \text{peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. seca}))}$$

$$\% \text{ de absorcion} = \left(\frac{5057.26 \text{ gr} - 4974.73 \text{ gr}}{4974.73 \text{ gr}} \right) * 100$$

$$\% \text{ de absorcion} = 1.66\%$$

El mismo procedimiento se realizara para la gravilla

Resultados de la práctica:

Los resultados son el promedio de tres ensayos realizados

Tabla 3.4: Resultados del peso específico (grava)

Gravedad especifica seca aparente Gsa	2.58	gr/cm³
Gravedad especifica de bulk Gsb	2.48	gr/cm ³
Gravedad especifica superficie seca bulk Gsssb	2.52	gr/cm ³
Absorción %	1.48	%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.5: Resultados del peso específico (gravilla)

Gravedad especifica seca aparente Gsa	2.60	gr/cm³
Gravedad especifica de bulk Gsb	2.47	gr/cm ³
Gravedad especifica superficie seca bulk Gsssb	2.52	gr/cm ³
Absorción %	1,94	%

Fuente: Elaboración Propia

3.2.3. Peso Específico del Agregado Fino (ASTM C-128)

Se realizó el ensayo según la norma, con tres muestras y se siguieron los pasos como se muestran a continuación

Procedimiento del ensayo:

Imagen 3.7: Se obtiene el material necesario



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.8: Lavar y dejar saturar en agua por 24 horas

El material que pasa por el tamiz N°4



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.9: Secado superficial del material con secadora



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.10: Verificación de la condición muestra Saturada con superficie seca.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.11: Colocar en un matraz 500gr de material, llenar agua y pesa



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.12: Sacar la muestra del matraz y dejar secar en el horno para posteriormente pesar



Fuente: Elaboración Propia

Cálculos:

Calculo para un ensayo realizado

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{\text{Peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. sat. sup seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso esp. del agre. seco} = \frac{490,6 \text{ gr}}{((500 \text{ gr} + 687,7\text{gr}) - 994,5\text{gr})}$$

$$\text{Peso esp. del agre. seco} = 2,54 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico saturado superficie seco} = \frac{\text{Peso muestra saturada superficie seca}}{((\text{Peso muestr. sat. sup seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso espec. satur. superficie seco} = \frac{500 \text{ gr}}{((500 \text{ gr} + 687.7 \text{ gr}) - 994.5 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso espec. satur. superficie seco} = 2,59 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{\text{Peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{490,6 \text{ gr}}{((490,6 \text{ gr} + 687.7 \text{ gr}) - 994.5 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,67 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{\text{Peso muestra sat. sup. seca} - \text{peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. seca}))}$$

$$\% \text{ de absorción} = \left(\frac{500 \text{ gr} - 490.6 \text{ gr}}{490.6 \text{ gr}} \right) * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = 1.91\%$$

Resultados de la práctica:

Los resultados son el promedio de tres ensayos realizados

Tabla 3.6: Resultados del peso específico (Arena)

Gravedad específica seca aparente Gsa	2.67	gr/cm ³
Gravedad específica de bulk Gsb	2.54	gr/cm ³
Gravedad específica superficie seca bulk Gssb	2.54	gr/cm ³
Absorción %	2.99	%

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Equivalente de Arena (ASTM D 2419 AASTHO T176)

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm).

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

Imagen 3.13: Equipo necesario para el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.14: Seleccionar material que pase el tamiz N° 4



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.15: Colocar la solución indicada hasta la medida



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.16: Colocar el material y golpear en la parte baja del cilindro
Para evitar burbujas de aire y dejar reposar por 10 minutos



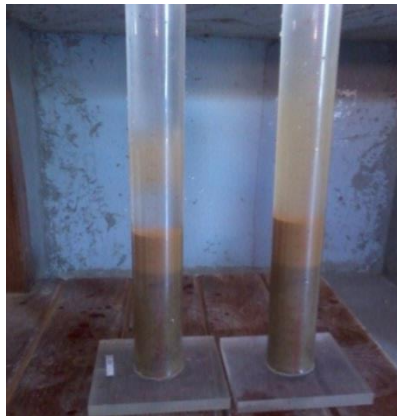
Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.17: Una vez transcurrido los 10 min, agitar el cilindro con la muestra y completar con la solución hasta la siguiente marca y dejar reposar por 20 min.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.18: Una vez transcurrido los 20 min, lecturar y obtener datos



Fuente: Elaboración Propia

Cálculos:

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{\text{Lectura de nivel superior}(H1)}{\text{Lectura de nivel inferior}(H2)} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{9.8}{13.3} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 73.68\%$$

Resultados de la práctica:

Resultado para dos ensayos realizados

Tabla 3.7: Tabla de resultados del equivalente de arena

N° de muestra	H1 (cm)	H2 (cm)	Equivalente de arena (%)
1	9.8	13.3	73.68
2	10.7	14.6	73.29
	Promedio		73.49

Fuente: Elaboración Propia

Equivalente de arena (%)	Norma
73,49	> 50%

3.2.5. Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99)

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

Para garantizar la resistencia de los agregados se los somete al ensayo de desgaste de Los Ángeles, ASTM E 131, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o abrasión.

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso en la tabla a continuación, se muestra el método a emplear; así como la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que deberá ser representativa de la gradación original suministrado.

Tabla 3.8: Pesos del agregado grueso y N° de esferas para el desgaste de los Ángeles.

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Numero De Esferas		12	11	8	6
N° De revoluciones		500	500	500	500

Fuente: Norma ASTM, C131.

Tabla 3.9: Especificaciones que debe cumplir cada gradación

Material	Especificación ASTM
A	35% MAX
B	35% MAX
C	35% MAX
D	35% MAX

Fuente: Elaboración Propia

Procedimiento de ensayo:

Imagen 3.19: Lavar y secar en el horno a una temperatura de 105-110 °C el material antes de introducir en la máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.20: Pesar los materiales retenidos en las cantidades
Del método que corresponden



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.21: Introducir la muestra y las cargas abrasivas
En la máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.22: Sacar el material y las cargas abrasivas



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.23: Tamizar la muestra por el tamiz N°12, para luego lavar y dejar al
horno a secar y pesar



Fuente: Elaboración Propia

Resultados de la Práctica:

Tabla 3.10: Datos del desgaste de los Ángeles (grava)

Gradación	B	Nº de revoluciones	500
Carga abrasiva con :	11		

Porciones De Muestra :		
Pasado	Retenido	Cantidad Tomada
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
Retenido en el tamiz de corte n°12 (1,7mm)		3865

Peso inicial	Peso final
5000	3865

Fuente: Elaboración Propia

Calculo :

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{5000}$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1135\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 22.7 \%$$

% de desgaste	Especificación ASTM
22,70	35% MAX

De la misma manera se debe hacer para la gravilla

Tabla 3.11: Datos del desgaste de los Ángeles (gravilla)

Gradación	C	N° de revoluciones	500
Carga Abrasiva Con :	8		

Porciones de muestra :		
Pasado	Retenido	Cantidad Tomada
1/2"	1/4"	2500
3/8"	N°4	2500
Retenido en el tamiz de corte n°12 (1,7mm)		3825

Peso inicial	Peso final
5000	3825

Fuente: Elaboración Propia

Calculo :

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{5000}$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1175\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 23.5 \%$$

% De desgaste	Especificación ASTM
23.5	35% MAX

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

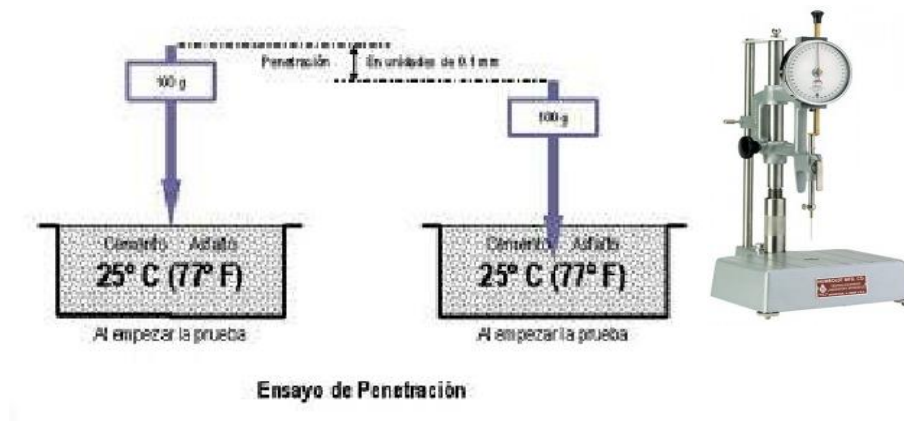
3.3.1. Ensayo de penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97)

Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semi-sólido y sólidos.

La consistencia de un cemento asfáltico se mide mediante un ensayo de penetración. Durante éste ensayo se introduce una aguja de dimensiones específicas en una muestra de betún bajo una carga conocida (100 gr) a una temperatura fija (25 °C), durante un plazo de tiempo predeterminado (5 seg).

Se denomina penetración a la distancia hasta la cual penetra la aguja, que se mide en décimas de milímetro/dmm (0.1 mm). Por lo tanto, cuanto mayor es la penetración de la aguja, más blando es el cemento asfáltico.

Imagen 3.24: Ensayo de penetración



Fuente: elaboración propia

Imagen 3.25: Colocar el betún en taras



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.26: Colocar las muestras en baño María de 25 °C por 30 min



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.27: Realizar el ensayo teniendo en cuenta que este limpia la aguja.



Fuente: Elaboración Propia

Resultados de la práctica:

Tabla 3.12: Resultados del ensayo de penetración del cemento asfáltico

Cemento asfáltico original								
Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
							Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm	99	102	83	94,2	85	100
	Lectura N°2		97	97	86			
	Lectura N°3		96	99	89			
	Promedio		97,3	99,3	86,0			

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Ensayo de Ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00)

La ductilidad de un material bituminoso es medida por la distancia en centímetros a la cual se alargará antes de romper cuando se tiran dos extremos de un espécimen de la briqueta del material, estos extremos son separados a una velocidad especificada y a una temperatura especificada. Este ensayo consiste en armar el molde en el plato bajo, y para prevenir que el material de ensayo se pegue, cubrir la superficie del plato con glicerina. Verter el cemento asfáltico en un delgado chorro de un lado a otro, de principio a fin hasta que el material cubra el nivel lleno del molde dejar que se enfríen para un periodo de 30 a 40 minutos y entonces poner el plato base y el molde lleno en el baño de agua a 25°C, por 30 minutos.

Quitar el plato base y el molde lleno del baño de agua, y con un temporizador caliente cortar el exceso el material bituminoso para que el molde simplemente esté lleno a nivel. Posteriormente quitar la briqueta del plato, despegar los pedazos laterales, e inmediatamente realizar el ensayo.

Imagen 3.28: Armado y engrasado de los platos de base y los moldes



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.29: Verter el cemento asfáltico en los moldes y dejar enfriar
Después poner en baño maría



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.30: Con una espátula enrazar los moldes para luego realizar el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Resultados de la práctica:

Tabla 3.13: Datos y resultados del ensayo de Ductilidad.

Cemento asfáltico original							
Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	140	150	145	145	100	-

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Punto de Inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO 79-96)

El objetivo de esta práctica es determinar el punto de ignición mínimo del asfalto (el cual representa las temperaturas críticas), por medio de la copa abierta de Cleveland.

Cuando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre.

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de "Vaso Abierto Cleveland" (COC), que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados.

El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

Imagen 3.31: Muestra en la copa de Cleveland



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.32: Muestra en ensayo pasando la llama de fuego.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.14: Datos y resultados del ensayo de Ductilidad.

Cemento asfáltico original							
Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	250	260	256		>232	-

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4. Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36 AASHTO T53-96)

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de ablandamiento de betún en el rango de 30 a 157°C (86 a 315°F) usando el aparato de la anillo-y-esfera sumergido en agua destilada, glicerina USP o glicol del etileno. Consiste en cubrir la superficie de la base y los anillos un agente (glicerina). Por otro lado poner agua destilada en el vaso de precipitación lo suficiente como para que la muestra quede totalmente bañada en el agua destilada luego verter el cemento asfáltico a los anillos y dejar reposar, enfriar durante 30 minutos. Una vez enfriado el asfalto poner los anillos junto al poseedor en el vaso con agua destilada, por fuera alrededor del vaso colocar hielo para bajar la temperatura hasta 5°C. Para acabar de armar todo el equipo, es decir colocar los anillos, con las guías de centradoras de las esferas en el poseedor y poner a calentar para hacer el ensayo.

Imagen 3.33: Engrasado de los anillos y base para evitar que se pegue



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.34: Verter el cemento asfáltico en los anillos y dejar enfriar



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.35: Poner los anillos en el poseedor y colocar hielo alrededor del vaso para poder bajar la temperatura hasta 5°C



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.36: Alcanzada la temperatura de 5°C
Colocar las guías centradoras y las bolas de acero y calentar



Fuente: Elaboración Propia

Resultados de la práctica:

Tabla 3.15: Datos y resultados del ensayo de Punto de Ablandamiento.

Cemento asfáltico original							
Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Punto de ablandamiento	°C	43,0	44,0		44	43	53

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5. Peso específico (ASTM D71-94 AASHTO T229-97)

La densidad relativa de un material bituminoso se define como la relación entre el peso de un volumen dado de una sustancia a 25°C y el peso de un volumen de agua a la misma temperatura.

Determinar el peso de los picnómetros y registrar el peso y designar a este dato la letra “A”. después llenar los picnómetros con agua destilada para posteriormente sumergirla totalmente en un vaso precipitado con agua destilada y dejar en baño María por 30 minutos para calibrar, luego una vez transcurrido el tiempo extraer los picnómetros, secar superficialmente y pesar y designar con la letra “B”. Luego verter el cemento asfáltico aproximadamente $\frac{3}{4}$ del picnómetro y dejar hasta que alcance temperatura ambiente. Posteriormente pesar los picnómetros más las muestras, designar ese dato como la letra “C”. Después llenar los picnómetros con agua destilada y sumergir también en agua destilada y dejar por 30 minutos, para luego secar, pesar y obtener el último dato, que se designa con la letra “D”

Imagen 3.37: Peso de los picnómetros vacíos



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.38: Calibrar y luego pesar cada uno de los picnómetros



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.39: Verter el cemento asfáltico en los picnómetros



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.40: Llenar con agua destilada cada uno de los picnómetros y

Dejar en baño maría por 30 minutos también en agua destilada sacar y pesar



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo:

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

Donde:

A = Peso del picnómetro

B = Peso del picnómetro + agua

C = Peso picnómetro+ asfalto

D =Peso del picnómetro +asfalto + agua

ρ_w = Peso específico del agua a la temperatura de ensayo (0.997077)

ρ_b = Peso específico del asfalto

$$\text{Peso Esp. del CA.} = \frac{56.4\text{gr} - 38.1\text{gr}}{(62.3 - 38.1) - (62.5 - 56.4)} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = 1,00809\text{gr/cm}^3$$

Resultados de la práctica:

Tabla 3.16: Datos y resultados del ensayo de Peso Específico.

Cemento asfáltico original							
Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	gr	38,1	37,3	38,1			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr	62,3	62,0	62,5			
Peso Picnómetro + Muestra	gr	56,4	55,5	56,1			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	62,5	62,1	62,8			
Peso Específico	gr/cm ³	1,008	1,003	1,014	1,008	0,99	1,05

Fuente: Elaboración Propia

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL FILLER

3.4.1 Determinación del peso específico de los suelos (ASTM D-854 AASHTO T-100)

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5mm. Cuando el suelo se compone tanto de partículas mayores como menores que 5mm, separe en el tamiz de 4.75mm (N°4).

Calibración de los frascos volumétricos

Imagen 3.41: Materiales a ser utilizados para la Calibración del frasco volumétrico



Fuente: elaboración propia

Imagen 3.42: Se lava el frasco con agua jabonosa, luego se enjuaga con agua hasta eliminar el jabón, seguidamente se enjuaga con alcohol para eliminar los restos de agua



Fuente: Elaboración propia

Datos, cálculos y resultados:

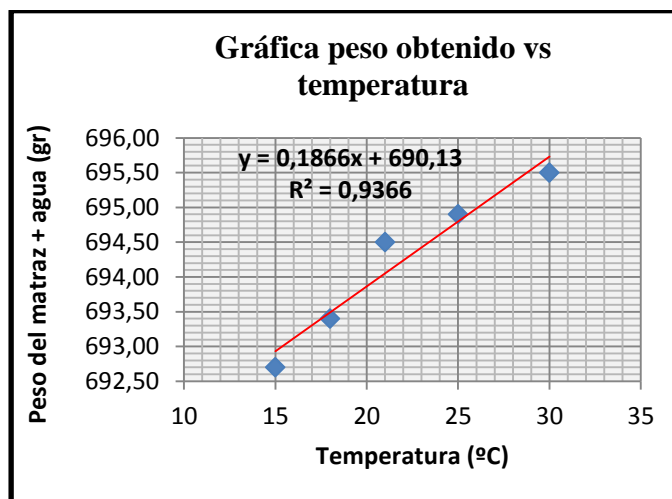
Tabla 3.17: Para la obtención de datos para la calibración de un matraz aforado de 500 ml

Temperatura vs. Tiempo

Medición	Temp. (°C)	Peso (gr)
1	30	695,50
2	25	694,90
3	21	694,50
4	18	693,40
5	15	692,70

Fuente: elaboración propia

Grafica 3.4: temperatura vs. Tiempo



Fuente: elaboración propia

$$A = 0,1813$$

$$B = 690,28$$

$$P_{\text{matraz + agua a } 20^{\circ}\text{C}} = 693,906$$

Peso específico del filler

Imagen 3.43: 80 gramos de las diferentes muestras para realizar el ensayo

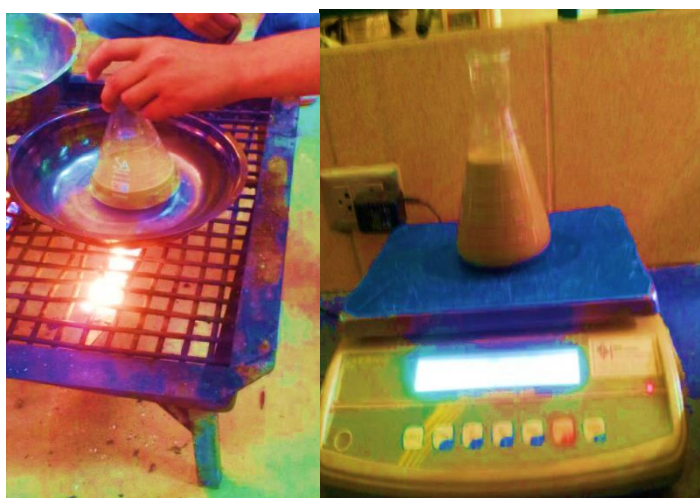


Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.44: Mezclar la muestra con un poco de agua e introducir al matraz calibrado



Imagen 3.45: Poner a baño maría la muestra de suelo introducida en el matraz luego pesar hacer variar las temperaturas de 30 a 15°C y tomar su peso



Fuente: de elaboración propia

Tabla 3.18: Datos y resultados del ensayo de peso Específico del filler de suelo laterítico obtenido de Chorcoya avilés

Chorcoya Avilés						
Numero de ensayos	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada °C	30,000	28,000	25,000	20,000	15,000	
Peso del suelo seco (Ws)	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	
Peso del frasco + agua (Wfw)	693,906	693,906	693,906	693,906	693,906	
Peso del frasco + agua+ suelo (Wfws)	744,000	743,800	743,500	743,200	742,900	
Peso especifico	3,011	2,987	2,952	2,918	2,884	
Factor de corrección (K)	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	
Peso específico corregido	3,005	2,981	2,946	2,912	2,878	2,944

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19: Datos y resultados del ensayo de Peso Específico del filler de suelo laterítico obtenido de Chorcoya Méndez

Chorcoya Méndez						
Numero de ensayos	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada °C	30,000	24,000	22,000	19,000	15,000	
Peso del suelo seco (Ws)	73,500	73,500	73,500	73,500	73,500	
Peso del frasco + agua (Wfw)	693,906	693,906	693,906	693,906	693,906	
Peso del frasco + agua+ suelo (Wfws)	742,300	741,900	741,600	741,300	741,100	
Peso especifico	2,928	2,882	2,848	2,815	2,794	
Factor de corrección (K)	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	
Peso específico corregido	2,921	2,876	2,842	2,810	2,788	2,847

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.20: Datos y resultados del ensayo de Peso Específico del filler de suelo laterítico obtenido de Comunidad el 9 de Bermejo

Comunidad el 9 –Bermejo						
Numero de ensayos	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada °C	30,000	27,000	24,000	20,000	15,000	
Peso del suelo seco (Ws)	72,800	72,800	72,800	72,800	72,800	
Peso del frasco + agua (Wfw)	693,906	693,906	693,906	693,906	693,906	
Peso del frasco + agua+ suelo (Wfws)	739,900	739,700	739,500	739,300	738,900	
Peso específico	2,716	2,696	2,676	2,656	2,618	
Factor de corrección (K)	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	
Peso específico corregido	2,710	2,690	2,670	2,651	2,613	2,667

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.21: Datos y resultados del ensayo de Peso Específico del filler de suelo laterítico obtenido de Comunidad 9 frente al ingenio

Comunidad 9 frente al ingenio						
Numero de ensayos	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada °C	30,000	28,000	25,000	20,000	15,000	
Peso del suelo seco (Ws)	73,100	73,100	73,100	73,100	73,100	
Peso del frasco + agua (Wfw)	693,906	693,906	693,906	693,906	693,906	
Peso del frasco + agua+ suelo (Wfws)	740,100	739,900	739,700	739,500	739,300	
Peso específico	2,717	2,697	2,677	2,658	2,638	
Factor de corrección (K)	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	
Peso específico corregido	2,711	2,691	2,671	2,652	2,633	2,672

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318 AASHTO T89)

La plasticidad de un suelo es muy importante al momento de ser utilizado este para diversos fines en pavimentos. Para calcular el índice de plasticidad es necesario determinar el límite líquido del suelo que es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado al horno, cuando este se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico. El ensayo se realiza utilizando una porción de material húmedo disperso en el aparato llamado casa grande y sometida a una serie de golpes hasta obtener la unión del material. Los cálculos se realizan con los determinados pesos de la muestra en estado húmedo, seco y por consiguiente hallar el índice de plasticidad.

Imagen 3.46: Mezclar el suelo con agua hasta que tome una consistencia como de mantequilla



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.47 Aparato de casa grande



Fuente de elaboración propia

Imagen 3.48: Poner el suelo en el aparato de casa grande

Suelo que no tiene límites de la comunidad el 9



Fuente de elaboración propia

3.4.3 Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4315 AASHTO T90)

El límite plástico de un suelo es el contenido mínimo de agua en el cual el material permanece en estado plástico. Es indispensable establecer este límite para determinar el índice de plasticidad que es el tamaño del intervalo de contenido agua, expresado con un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el suelo está en un estado plástico. El índice de plasticidad sirve para determinar qué tipo de suelo está en un estado plástico. El índice de plasticidad sirve para determinar qué tipo de suelo se está ensayando y que tan compresibles es. Según la norma ASTM-242 donde especifica los requerimientos necesarios para que un suelo pueda ser utilizado como llenante mineral aclara que el índice de plasticidad no puede estar superior a 4 teniendo algunas excepciones como la cal hidratada y el cemento hidráulico. el ensayo es sencillo y se utiliza una pequeña porción de muestra , formando rollitos de masa hasta quebrantarse, pesando la muestra en estado húmedo y seco y calculando el límite y el índice con las formulas indicadas por la norma.

Imagen 3.49: Plasticidad en los suelos



Fuente: Elaboración propia

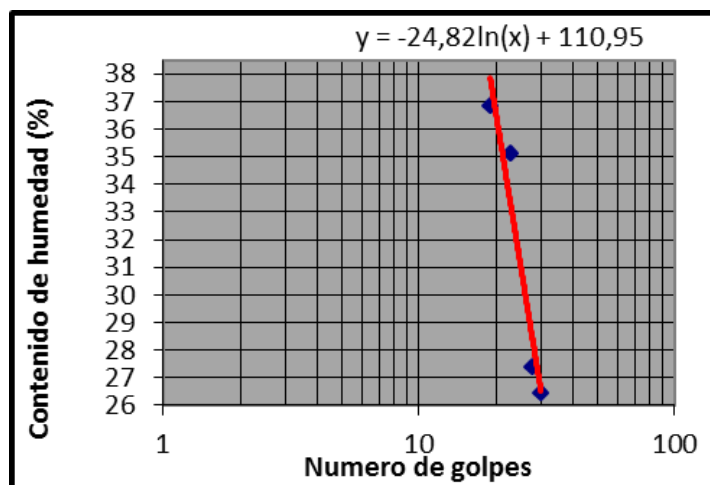
Resultados de los ensayos

Tabla3.22: Determinación del límite líquido Chorcoya Avilés

Chorcoya Avilés				
Determinación del límite líquido				
Cápsula N°	10	11	33	44
Numero de golpes	19	23	28	30
Peso cápsula (gr.)	21,60	20,50	18,60	20,60
Peso cápsula + muestra húmeda (gr.)	42,40	35,50	28,60	31,60
Peso cápsula + muestra seca (gr.)	36,80	31,60	26,45	29,30
Peso muestra seca (gr.)	15,20	11,10	7,85	8,70
Peso agua (gr.)	5,60	3,90	2,15	2,30
Contenido de humedad (%)	36,84	35,14	27,39	26,44

Fuente: Elaboración propia

Gráfica3.5: Para sacar el limite líquido a 25 golpes



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23: Datos para la determinación del límite plástico

Determinación del límite plástico			
Cápsula N°	6	25	73
Peso cápsula (gr.)	21,10	20,20	20,40
Peso cápsula + muestra húmeda (gr.)	23,30	22,10	21,10
Peso cápsula + muestra seca (gr.)	22,80	21,67	20,94
Peso muestra seca (gr.)	1,70	1,47	0,54
Peso agua (gr.)	0,50	0,43	0,16
Contenido de humedad (%)	29,41	29,25	29,63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24: Resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Cuadro de resultados
Límite Líquido (%)
31,06
Límite Plástico (%)
29,43
Índice Plástico (%)
1,63

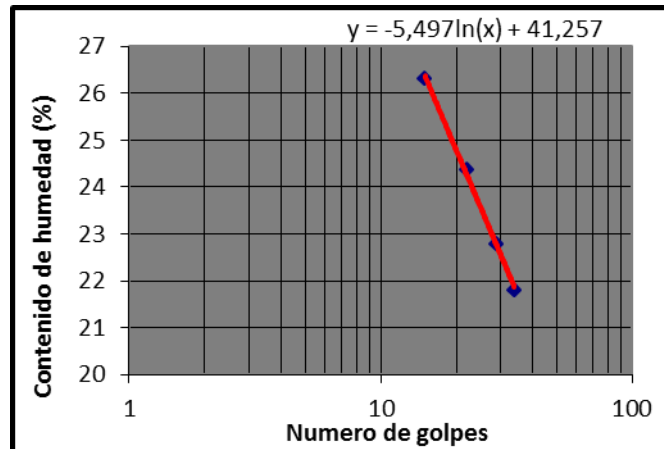
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25: Para la determinación del límite líquido Chorcoya Méndez

Chorcoya Méndez				
Determinación del límite líquido				
Cápsula N°	15	6	26	46
Numero de golpes	15	22	29	34
Peso cápsula (gr.)	13,90	14,80	25,00	18,70
Peso cápsula + muestra húmeda (gr.)	23,50	24,50	34,70	30,60
Peso cápsula + muestra seca (gr.)	21,50	22,60	32,90	28,47
Peso muestra seca (gr.)	7,60	7,80	7,90	9,77
Peso agua (gr.)	2,00	1,90	1,80	2,13
Contenido de humedad (%)	26,32	24,36	22,78	21,80

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.6: Para sacar el limite líquido a 25 golpes



Fuente: Elaboración propia

Tabla3.26: Datos para la determinación del límite plástico de Chorcoya Méndez

Determinación del límite plástico			
Cápsula N°	58	62	20
Peso cápsula (gr.)	12,50	12,40	12,60
Peso cápsula + muestra húmeda (gr.)	16,50	17,00	16,30
Peso cápsula + muestra seca (gr.)	15,90	16,30	15,75
Peso muestra seca (gr.)	3,40	3,90	3,15
Peso agua (gr.)	0,60	0,70	0,55
Contenido de humedad (%)	17,65	17,95	17,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.27: Resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Cuadro de resultados
Límite Líquido (%)
23,56
Límite Plástico (%)
17,69
Índice Plástico (%)
5,88

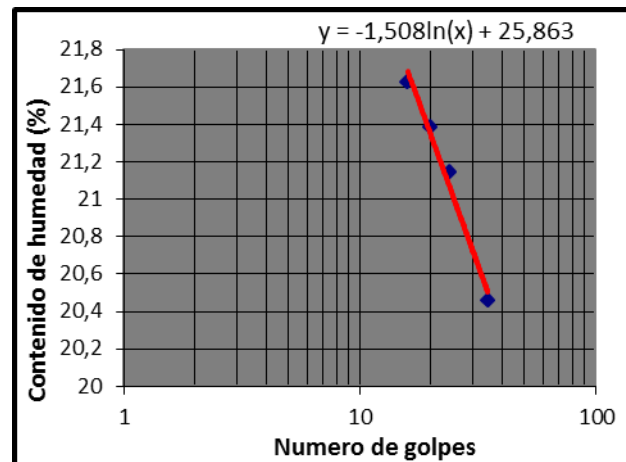
Fuente: Elaboración propia

Tabla3.28: Para la determinación del límite líquido comunidad el 9 frente al ingenio

Comunidad el 9 frente al ingenio				
Determinación del límite líquido				
Cápsula N°	15	6	26	46
Numero de golpes	16	20	24	35
Peso cápsula (gr.)	19,50	18,10	18,00	18,40
Peso cápsula + muestra húmeda (gr.)	24,00	31,10	23,10	23,70
Peso cápsula + muestra seca (gr.)	23,20	28,81	22,21	22,80
Peso muestra seca (gr.)	3,70	10,71	4,21	4,40
Peso agua (gr.)	0,80	2,29	0,89	0,90
Contenido de humedad (%)	21,62	21,38	21,14	20,45

Fuente: Elaboración propia

Gráfica3.7: Para sacar el limite líquido a 25 golpes



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29: Datos para la determinación del límite plástico de comunidad el 9 frente al ingenio

Determinación del límite plástico			
Cápsula N°	58	62	20
Peso cápsula (gr.)	12,60	20,60	12,30
Peso cápsula + muestra húmeda (gr.)	15,30	24,00	15,60
Peso cápsula + muestra seca (gr.)	14,90	23,50	15,10
Peso muestra seca (gr.)	2,30	2,90	2,80
Peso agua (gr.)	0,40	0,50	0,50
Contenido de humedad (%)	17,39	17,24	17,86

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.30: Resultados de límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad

Cuadro de resultados
Límite Líquido (%)
21,01
Límite Plástico (%)
17,50
Índice Plástico (%)
3,51

Fuente: Elaboración propia

La comunidad el 9 de bermejo no presenta límites.

3.5. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL PARA DETERMINAR EL CONTENIDO ÓPTIMO DEL CEMENTO ASFÁLTICO

El siguiente procedimiento será aplicado para obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico que será utilizado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, éste se realizará mediante el método Marshall de acuerdo a la Norma (ASTM D15-59) que es empleado también para proyectos en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que contienen cemento asfáltico y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de $\frac{3}{4}$ " pulgadas.

El propósito del método de dosificación Marshall es determinar el contenido óptimo de betún para una combinación específica de áridos. Se trata de un ensayo mecánico que consiste en romper probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro por 63,5 mm de altura y compactadas mediante un martillo de peso y altura de caída normalizados. Posteriormente se calientan a una temperatura de 60°C y se rompen en la prensa Marshall mediante la aplicación de una carga vertical a través de una mordaza perimetral y una velocidad de deformación constante de 50,8 mm/min para determinar su estabilidad y deformación. Este método establece densidades y contenidos óptimos de huecos que se han de cumplir durante la construcción del pavimento. Es importante saber que este ensayo es uno de los más conocidos y utilizados tanto para la dosificación de mezclas bituminosas como para su control en planta mediante la verificación de los parámetros de diseño de las muestras tomadas. Usualmente se preparan tres probetas para cada contenido de asfalto.

Los datos así obtenidos se emplean para establecer el contenido de asfalto óptimo de la mezcla y para determinar algunas de sus características físicas.

Para la confección de las briquetas se debe primero tamizar todo el agregado que será utilizado y tener en bolsas separadas, antes de pesar el agregado deberá secarse hasta obtener peso constante entre 105°C y 110°C. Sobre la base del peso de 1200 gr que debe pesar cada muestra antes de compactar, se preparan las proporciones separadas

para cada una de las 18 probetas, colocando las cantidades necesarias de los agregados.

Posteriormente se pesará tres muestras para cada contenido de asfalto y poner al horno, ya que los agregados deben ser calentados a una temperatura superior en más o menos 15°C a la del cemento asfáltico. Por otro lado, el asfalto también se calienta a una temperatura entre 140 y 150°C. Los moldes y la zapata del pisón de compactación también deben ser previamente calentados a una temperatura comprendida entre 100 y 150°C.

Se retira los agregados del horno previamente pesados y se añade el cemento asfáltico mezclando hasta obtener una muestra homogénea la misma debe realizarse a una temperatura inferior en 10 a 20°C a la del calentamiento del cemento asfáltico. Luego se coloca en el molde y estando todo caliente se compacta con 75 golpes a cada cara de la briqueta, retirar la probeta del molde y dejar enfriar al aire para luego ser ensayada dentro de las 24 horas subsiguientes.

Imagen 3.50: Separación los agregados por tamaño para armar la granulometría



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.51: Pesar los agregados, las cantidades necesarias



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.52: Una vez calientes a las temperaturas determinadas mezclar



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.53: Compactar con 75 golpes cada lado, desmoldar y dejar enfriar



Fuente: Elaboración Propia

3.5.1 Determinación de la Densidad, Estabilidad y Fluencia Marshall

Previo a los ensayos Marshall, se debe determinar la altura de las briquetas para un factor de corrección que se aplica cuando no cumple con lo establecido en la norma. Se hizo la lectura de tres alturas para promediar, ya que las briquetas no tienen una altura pareja, por desvío del martillo compactador al realizarlo manualmente.

Determinación de la Densidad

Imagen 3.54: Medir sus alturas y pesar en su estado seco al aire libre.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.55: Sumergir las briquetas en agua durante 5min a 25°C y después determinar el peso sumergido en agua



Fuente: de elaboración propia

Imagen 3.56: Pesar las briquetas saturadas con superficie seca.



Fuente: Elaboración Propia

Determinación de la Estabilidad y Fluencia

Imagen 3.57: Poner en baño María a 60°C por 35 min para cada una



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.58: Colocar las briquetas en la mordaza y lectura del dial de Estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de deformación para el Flujo.



Fuente: Elaboración Propia

Desarrollo de la planilla:

Se realizara un cálculo demostrativo para la briketa con porcentaje de cemento asfáltico de 4,5%

a) Identificación:

Las Briketas 1, 2, 3 serán las que analizaremos en el documento:

b) Altura de la briketa:

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4,8% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Identificación	Altura Briketa (cm)
1	6,41
2	6,23
3	6,79

c) Porcentaje de asfalto :

1c) Base de agregado:

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

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

$$\text{Base de agregado} = 4.71$$

2c) Base de la mezcla:

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4,5%.

d) Peso de la biqueta en el aire

El peso de la biqueta en el aire se lo calcula cuando se desmolda la biqueta cuyos datos son los siguientes:

Identificación	Peso biqueta en el aire (gr)
1	1184.9
2	1167.9
3	1176.4

e) Peso de la biqueta en el aire saturado superficialmente seco (SSS)

El peso de la briqueta SSS se lo calcula saturando la briqueta en el agua durante 30 min a 25°C y secándola superficialmente.

Identificación	Peso briqueta en el aire S.S.S. (gr)
1	1186.7
2	1170.6
3	1177.2

f) Peso de la briqueta sumergida en el agua:

El peso sumergido, se lo calcula cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25 °C durante 30 minutos cuyos datos de la briqueta son los siguientes:

Identificación	Peso briqueta sumergida (gr)
1	652
2	655
3	678

g) Volumen de la briqueta:

$$\text{Vol. de briq.} = \text{Peso briq. en el aire SSS} - \text{Peso briq. sumergida}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 1186.7 \text{ gr} - 652 \text{ gr}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 534.7 \text{ gr.}$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

h) Densidad de la briqueta:

1h) Densidad real de la briqueta:

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

$$D \text{ real} = \frac{1184.9 \text{ gr}}{534.7 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2,216 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

2h) Densidad máxima teórica de la briqueta:

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso esp. asfalto}} \right) + \left(\frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso esp. total}} \right)$$

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{4,5}{1,008 \text{ gr/cm}^3} \right) + \left(\frac{100 - 4,5}{2,674 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$D_{\text{max t.}} = 2.491 \text{ gr/cm}^3$$

i) Porcentaje de vacíos:

1i) Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$Vv = \left(\frac{\text{Dens. briq. max. teórica} - \text{Dens. briq. promedio}}{\text{Densidad briqueta máxima teórica}} \right) * 100$$

$$Vv = \left(\frac{2,491 \text{ gr/cm}^3 - 2,279 \text{ gr/cm}^3}{2,491 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$V_v = 8.60\%$$

2i) Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

$$VAM = \left(\frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad briq. promedio}}{\text{Peso específico de asfalto}} \right) + \% \text{ de vacíos (Vv)}$$

$$VAM = \left(\frac{4,5 * 2,279 \text{ gr/cm}^3}{1,008 \text{ gr/cm}^3} \right) + 8,60\%$$

$$VAM = 18.59\%$$

3i) Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

$$RBV = \left(\frac{VAM - V_v}{VAM} \right) * 100$$

$$RBV = \left(\frac{18,59 - 8,60}{18,59} \right) * 100$$

$$RBV = 54.29\%$$

j) Estabilidad y fluencia:

La estabilidad y fluencia se determina después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Lectura dial		
Identificación	Estabilidad (pulg)	Fluencia 1/100
1	88	180
2	90	160
3	96	190

Se realiza con la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall:

$$\text{Lectura}_{\text{dial Estabilidad}_1} = 88 \text{ pulg}$$

$$\text{Carga}_{\text{anillo MARSHALL}_1} = 88 * 11.19 * 2.2046 = 2170.9 \text{ libras}$$

$$\text{Factor}_{\text{corrección altura}_1} = 0.985$$

$\text{Estabilidad}_1 = 2170.9 \text{ libras} * 0.985 = 2138 \text{ libras}$
--

Resumen de la corrección de la fluencia:

Identificación	Fluencia corregida 1/100
1	8.0
2	8.5
3	9.0

$$\text{Fluencia media} = \frac{8 + 8.5 + 7.5}{3}$$

$$\text{Fluencia media} = 8.5 \text{ pulg.}$$

Resultado de la práctica:

El procedimiento detallado de cada uno de los cálculos y gráficas realizado para determinar el contenido óptimo del cemento asfáltico se verá registrado en el anexo 3.

Tabla 3.31: Resultados del ensayo Marshall para determinar el contenido optimo

Porcentaje de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libras)	flujo (pulg)	%de vacíos de mezcla total	RBV(relación betún vacíos)	V.A:M (vacíos de agregado mineral) (%)
4.5	2,27	2190,10	8,50	8,85	53,40	19,00
5	2,31	2509,20	8,67	6,82	62,64	18,26
5.5	2,32	2518,20	9,17	5,44	69,95	18,11
6	2,31	2222,00	10,00	5,18	72,66	18,93
6.5	2,27	1801,80	11,00	6,04	70,81	20,70
Promedio	5,50	5,50	6,50	4,50	6,00	6,50
Promedio final	5,61					

Fuente: Elaboración Propia

4.1.ANÁLISIS DE RESULTADOS

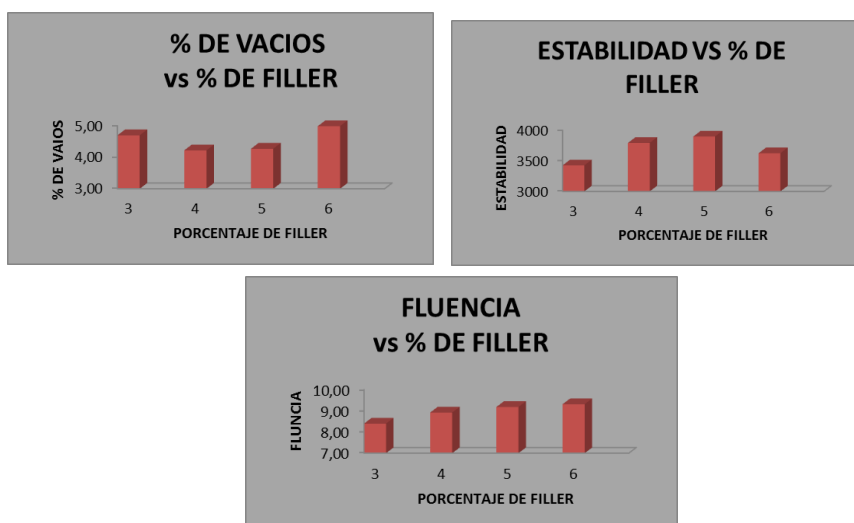
Resultados obtenidos para los diferentes tipos de fillers

Tabla 4.1: Resultados obtenidos para mezclas asfálticas realizadas con filler proveniente de Chorcoya Avilés

Chorcoya Avilés						
Porcentaje de fillers	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libras)	flujo (pulg)	%de vacíos de mezcla total	RBV(relación betún vacíos)	V.A:M (vacíos de agregado mineral) (%)
3	2,31	3424	8,40	4,69	73,23	17,52
4	2,32	3790	8,92	4,21	75,37	17,11
5	2,31	3894	9,19	4,26	75,14	17,15
6	2,29	3622	9,32	4,98	71,99	17,77
MÍNIMO		1800	8	3	75	18
MÁXIMO		-	14	5	82	-

Fuente: Elaboración Propia

Gráficas 4.1: Variación de la estabilidad, porcentaje de vacíos y la fluencia con respecto a la variación de los diferentes porcentajes de filler



Fuente: Elaboración propia

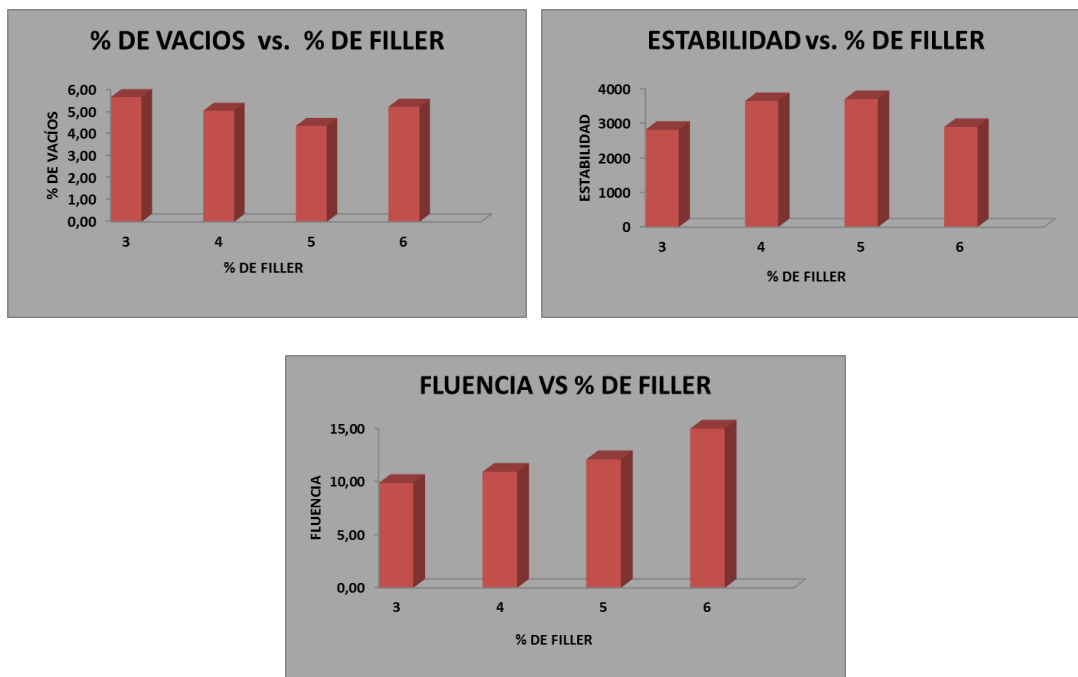
Para los diferentes porcentajes utilizados con filler laterítico de origen Chorcoya Avilés se puede ver que los vacíos disminuyen la estabilidad aumenta y la fluencia también aumenta en pequeñas proporciones para todos los porcentajes de filler.

Tabla 4.2: Resultados obtenidos para mezclas asfálticas realizadas con filler proveniente de Chorcoya Méndez

Chorcoya Méndez						
Porcentaje de fillers	Densidad promedio (gr/cm³)	Estabilidad (libras)	flujo (pulg)	%de vacíos de mezcla total	RBV(relación betún vacíos)	V.A:M (vacíos de agregado mineral) (%)
3	2,28	2814	9,84	5,65	69,20	18,34
4	2,29	3644	10,89	5,03	71,73	17,81
5	2,31	3701	12,07	4,35	74,74	17,21
6	2,29	2895	14,96	5,22	70,96	17,97
MÍNIMO		1800	8	3	75	18
MÁXIMO		-	14	5	82	-

Fuente: Elaboración propia

Gráficas 4.2: Variación de la estabilidad, porcentaje de vacíos y la fluencia con respecto a la variación de los diferentes porcentajes de filler



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas se puede observar que cuando se le agrega un 5% de filler a la mezcla asfáltica tendríamos valores óptimos de vacíos se produciría un el valor máximo de estabilidad 3701 lb el flujo estaría en el rango permisible por la norma.

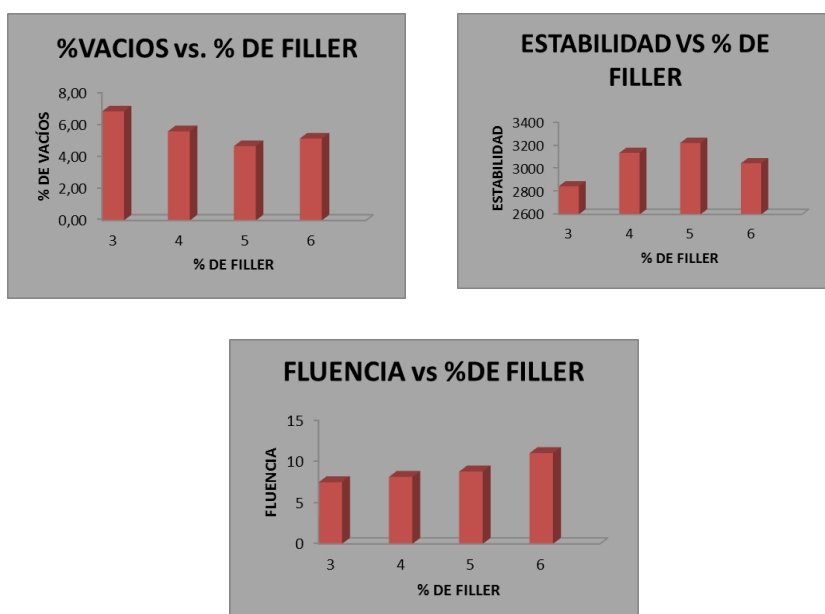
También se puede observar que para un 6% de filler agregado la deformación está por encima de los rangos permisibles esto se debe a que el índice de plasticidad es mayor para el suelo laterítico de esta zona.

Tabla 4.3: Resultados obtenidos para mezclas asfálticas realizadas con filler proveniente de Comunidad el 9 frente al ingenio

Comunidad el 9 frente al ingenio						
Porcentaje de fillers	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libras)	flujo (pulg)	%de vacíos de mezcla total	RBV(relación betún vacíos)	V.A:M (vacíos de agregado mineral) (%)
3	2,25	2844	7,48	6,82	64,71	19,33
4	2,28	3136	8,13	5,58	69,44	18,26
5	2,30	3223	8,79	4,65	73,35	17,45
6	2,29	3046	11	5,13	71,31	17,87
MÍNIMO		1800	8	3	75	18
MÁXIMO		-	14	5	82	-

Fuente: Elaboración propia

Gráficas 4.3: Variación de la estabilidad, porcentaje de vacíos y la fluencia con respecto a la variación de los diferentes porcentajes de filler



Fuente: Elaboración propia

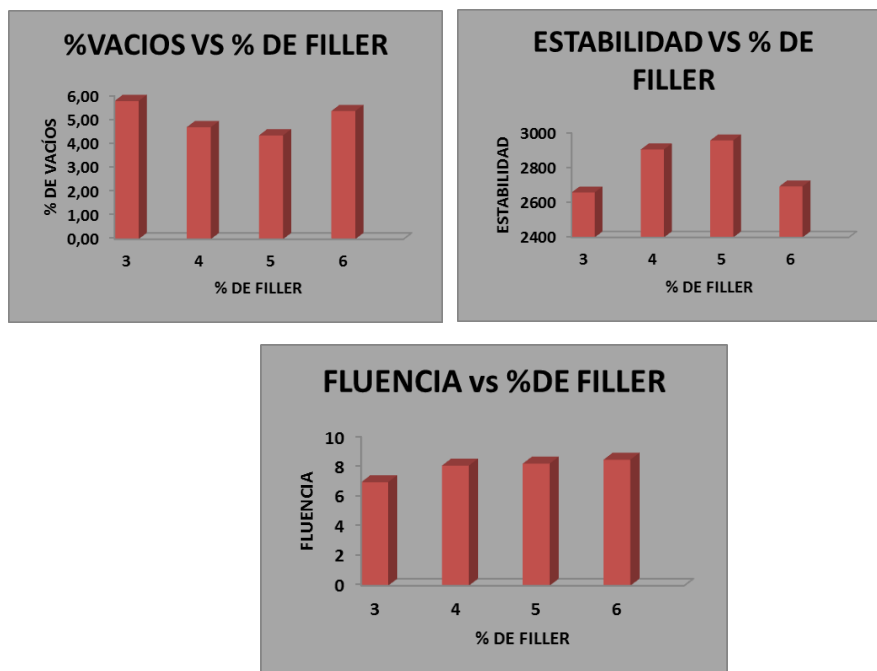
Se observa que para 5% de filler de origen laterítico proveniente de la comunidad el 9 de bermejo frente al ingenio los vacíos son satisfactorios la estabilidad es de 3223 lb siendo este valor el máximo y el flujo se incrementa pero está dentro de los valores permisibles siendo este 8.79pulg

Tabla 4.4: Resultados obtenidos para mezclas asfálticas realizadas con filler proveniente de comunidad el 9 de bermejo

Comunidad el 9-bermejo						
Porcentaje de fillers	Densidad promedio (gr/cm³)	Estabilidad (libras)	flujo (pulg)	%de vacíos de mezcla total	RBV(relación betún vacíos)	V.A:M (vacíos de agregado mineral) (%)
3	2,27	2659	6,95	5,79	68,61	18,44
4	2,30	2907	8,07	4,69	73,18	17,49
5	2,31	2959	8,20	4,35	74,70	17,19
6	2,28	2694	8,46	5,37	70,31	18,07
MÍNIMO		1800	8	3	75	18
MÁXIMO		-	14	5	82	-

Fuente: Elaboración propia

Gráficas4.4: Variación de la estabilidad, porcentaje de vacíos y la fluencia con respecto a la variación de los diferentes porcentajes de filler



Fuente: Elaboración propia

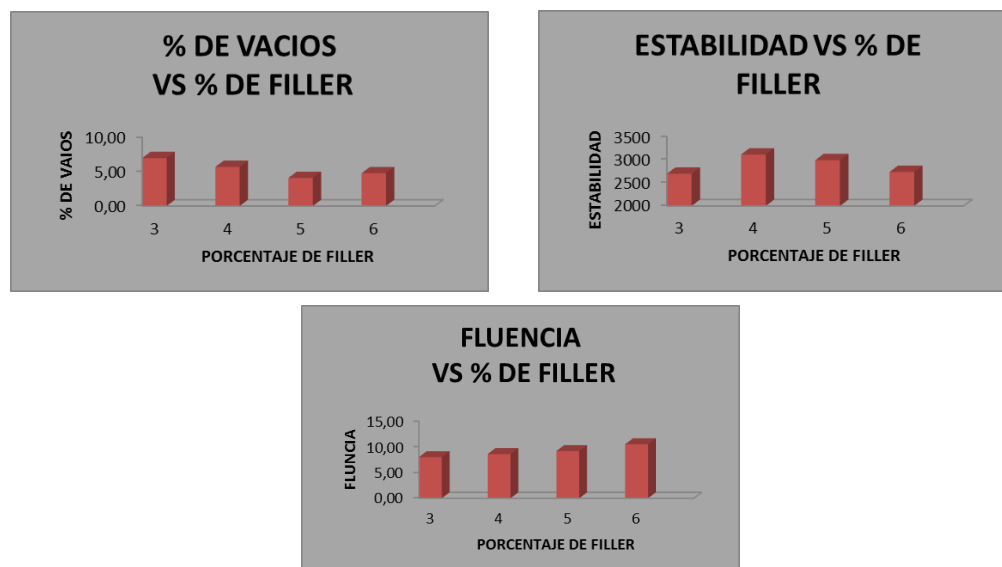
Al incrementarse el porcentaje de filler de origen laterítico proveniente de la comunidad el 9 frente al ingenio se puede observar que para un porcentaje de 4 y 5 % las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica son las satisfactorias y cumplen con las especificaciones de la norma. Siendo las estabilidades de 2907 y 2959 lb respectivamente.

Tabla 4.5: Resultados obtenidos para mezclas asfálticas realizadas con filler polvo de rocas

Filler polvo de roca						
Porcentaje de fillers	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libras)	flujo (pulg)	%de vacíos de mezcla total	RBV(relación betún vacíos)	V.A:M (vacíos de agregado mineral) (%)
3	2,24	2696	8,01	7,01	64,07	19,50
4	2,28	3115	8,60	5,72	68,88	18,38
5	2,31	2992	9,19	4,11	75,81	16,99
6	2,30	2736	10,50	4,78	72,77	17,57
MÍNIMO		1800	8	3	75	18
MÁXIMO		-	14	5	82	-

Fuente: Elaboración propia

Gráficas4.5: Variación de la estabilidad, porcentaje de vacíos y la fluencia con respecto a la variación de los diferentes porcentajes de filler



Fuente: Elaboración propia

Para porcentajes de polvo de roca de 5 a 6 los resultados de los vacíos son satisfactorios también las propiedades mecánicas de estabilidad y fluencia.

Tabla 4.6: Resultados obtenidos para mezclas asfálticas realizadas sin filler

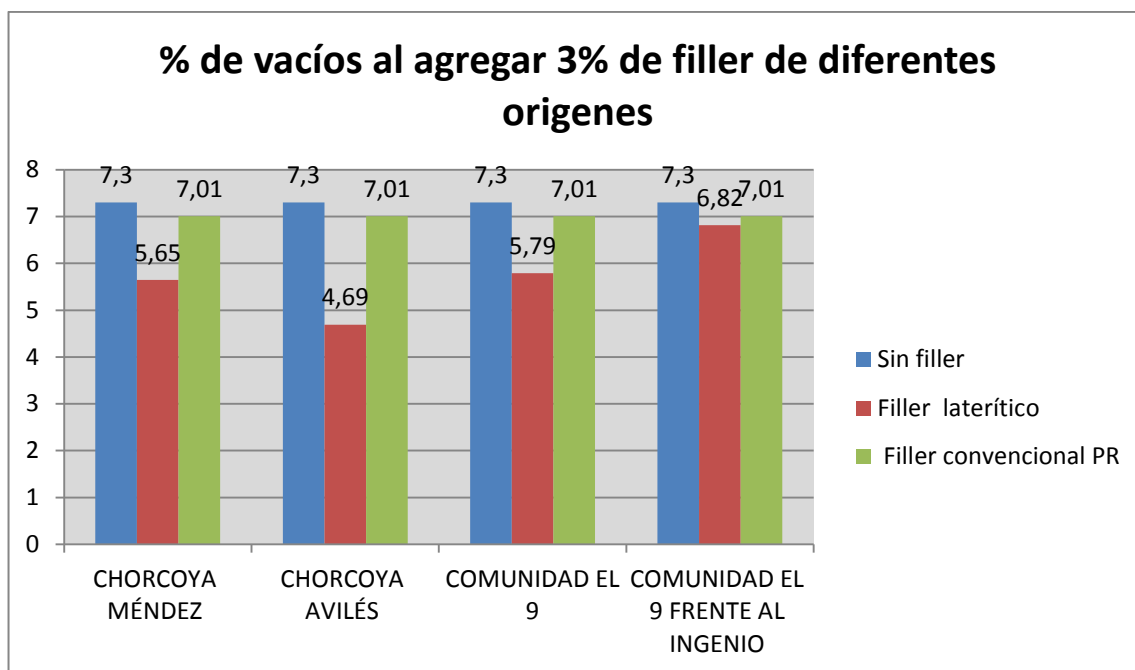
Sin filler						
Porcentaje de fillers	Densidad promedio (gr/cm³)	Estabilidad (libras)	flujo (pulg)	%de vacíos de mezcla total	RBV(relación betún vacíos)	V.A:M (vacíos de agregado mineral) (%)
0	2,24	2595	7,02	7,30	63,03	19,74
MÍNIMO		1800	8	3	75	18
MÁXIMO		-	14	5	82	-

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que para una mezcla convencional sin filler la estabilidad y fluencia son bajas comparadas con las mezclas a las cuales se les añade filler ya sea de origen laterítico o polvo de roca y en cuanto a los vacíos se puede ver que no satisface los propuestos por la norma.

- **Vacíos a diferentes porcentajes con filler de origen laterítico obtenidos de diferentes regiones**

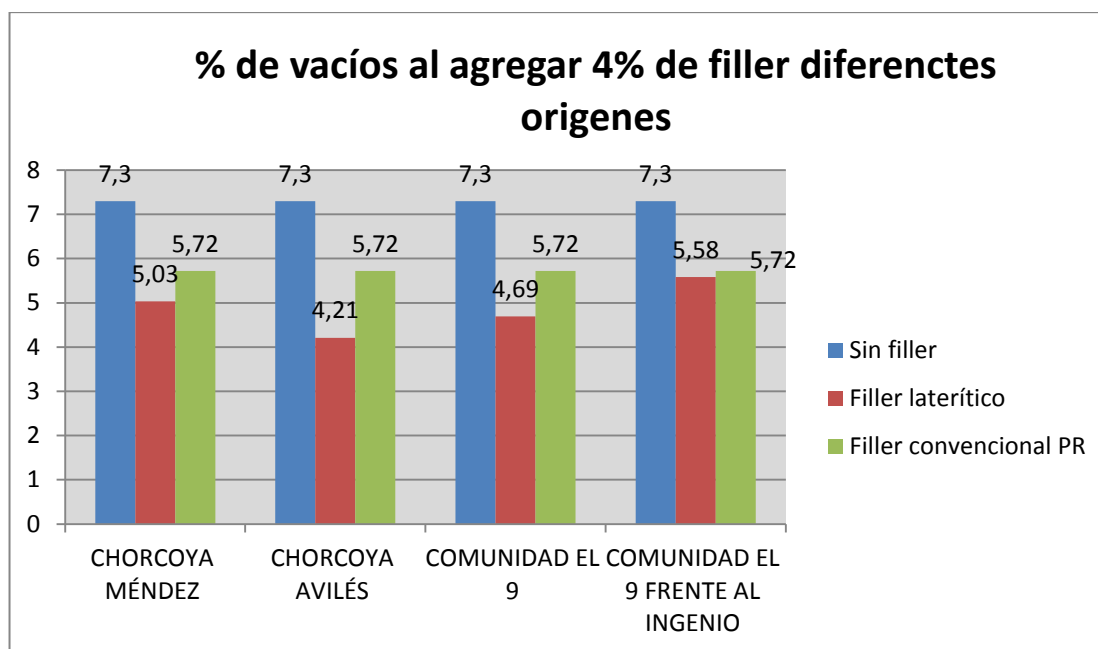
Gráfico 4.6: Comparativo de los vacíos de la mezcla al agregar 3% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

Comparando los vacíos de la mezcla podemos observar de manera general que al agregar un 3% de filler laterítico se reducen considerablemente con relación al filler convencional.

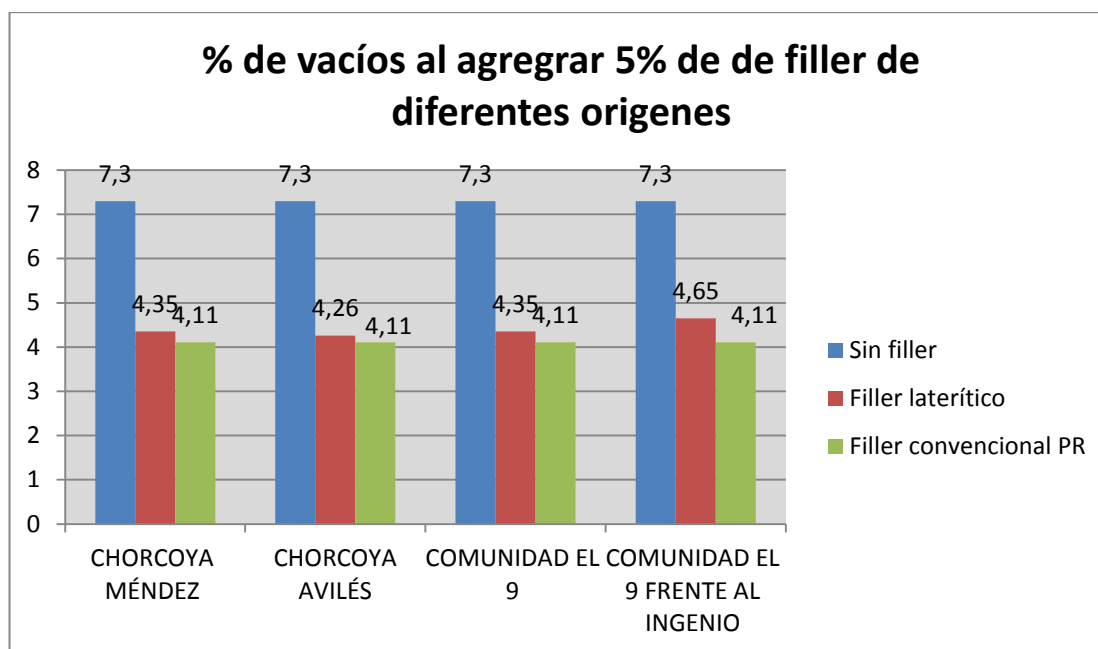
Gráfico 4.7: Comparativo de los vacíos de la mezcla al agregar 4% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

Al añadir 4% de filler laterítico a la mezcla asfáltica se puede ver que los vacíos se siguen reduciendo en 2 casos los vacíos ya están cumpliendo con los considerados en la norma (comunidad el 9 Bermejo y Chorcoya Avilés)

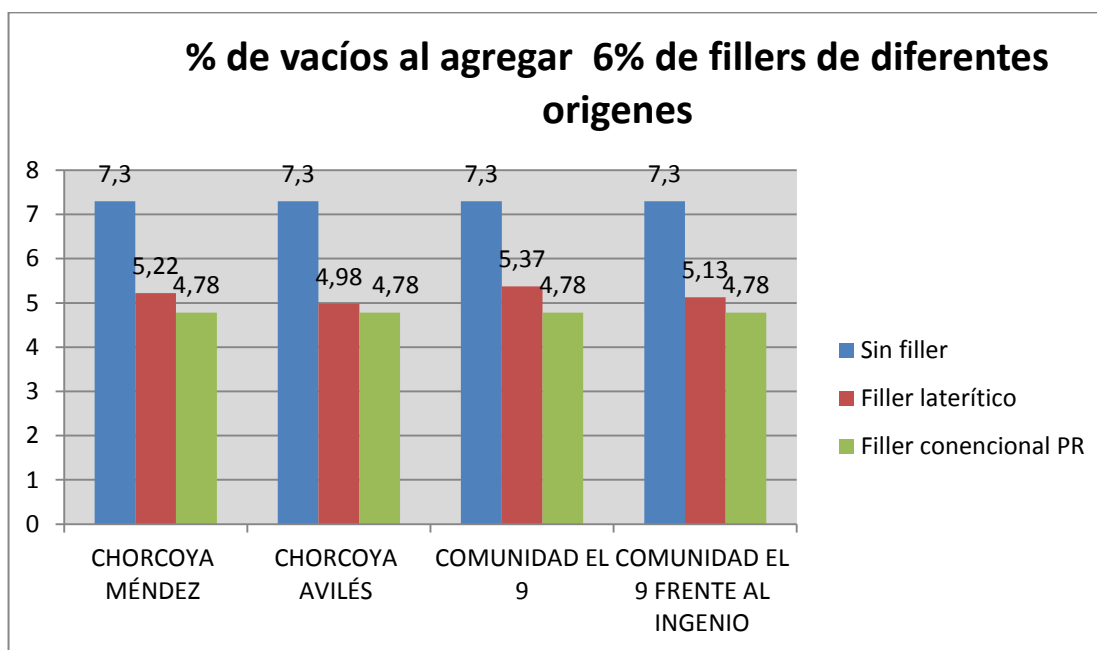
Gráfico 4.8: Comparativo de los vacíos de la mezcla al agregar 5% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

Al añadir un 5% para los dos tipos de fillers añadidos a las mezclas asfálticas se puede observar que ya los vacíos son satisfactorios para ambas mezclas tanto diseñadas con filler de origen laterítico como para las mezclas convencionales que usan polvo de roca.

Gráfico 4.9: Comparativo de los vacíos de la mezcla al agregar 6% de filler de diferentes procedencias

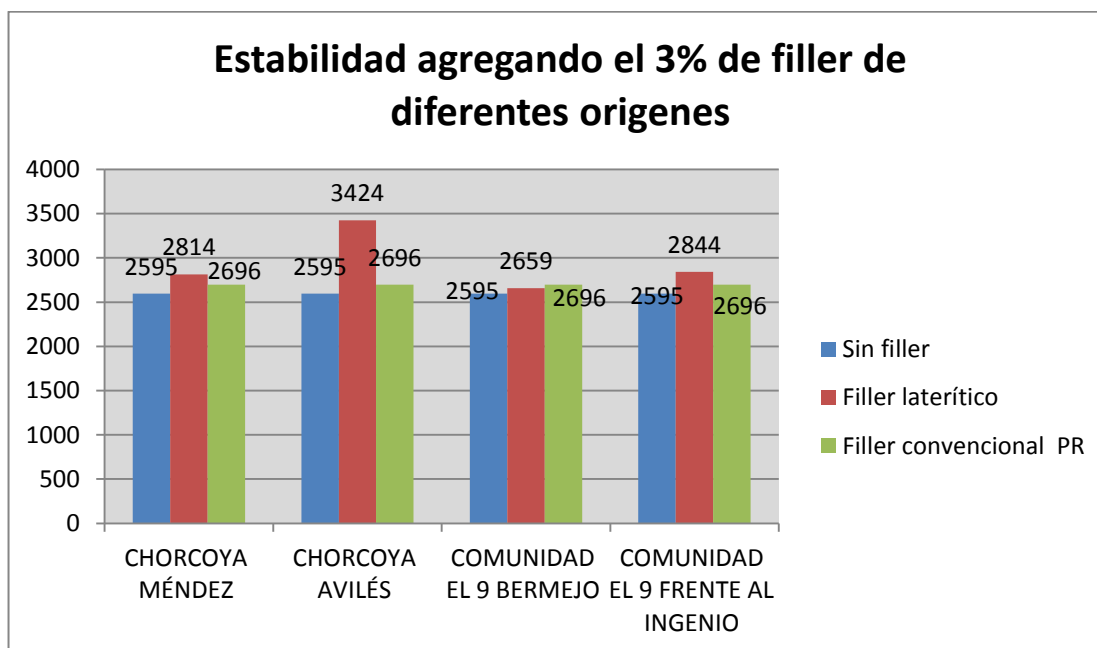


Fuente: Elaboración propia

Al incrementar los porcentajes de filler se reducen considerablemente los vacíos en la mezcla asfáltica. Estas reducciones de vacíos que se hacen al utilizar filler son las que reducen el contenido de cemento asfáltico al densificarlos llenan los vacíos existentes en las mezcla asfáltica. Si a la mezcla convencional no se le añade filler, se producirían mezclas asfálticas permeables.

- **Estabilidad al agregar diferentes porcentajes de origen laterítico.**

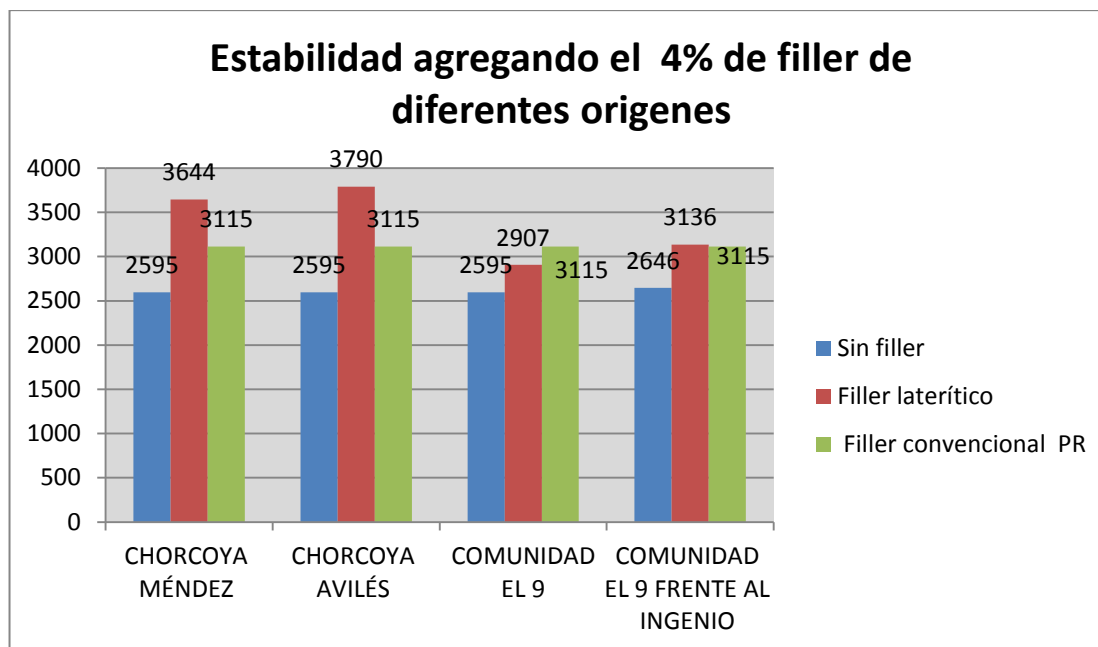
Gráfico 4.10: Comparativo de la estabilidad de la mezcla al agregar 3% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

La estabilidad aumenta considerablemente al añadir filler a la mezcla asfáltica se puede observar de manera general que el filler de origen laterítico incremento de manera más satisfactoria los valores de estabilidad.

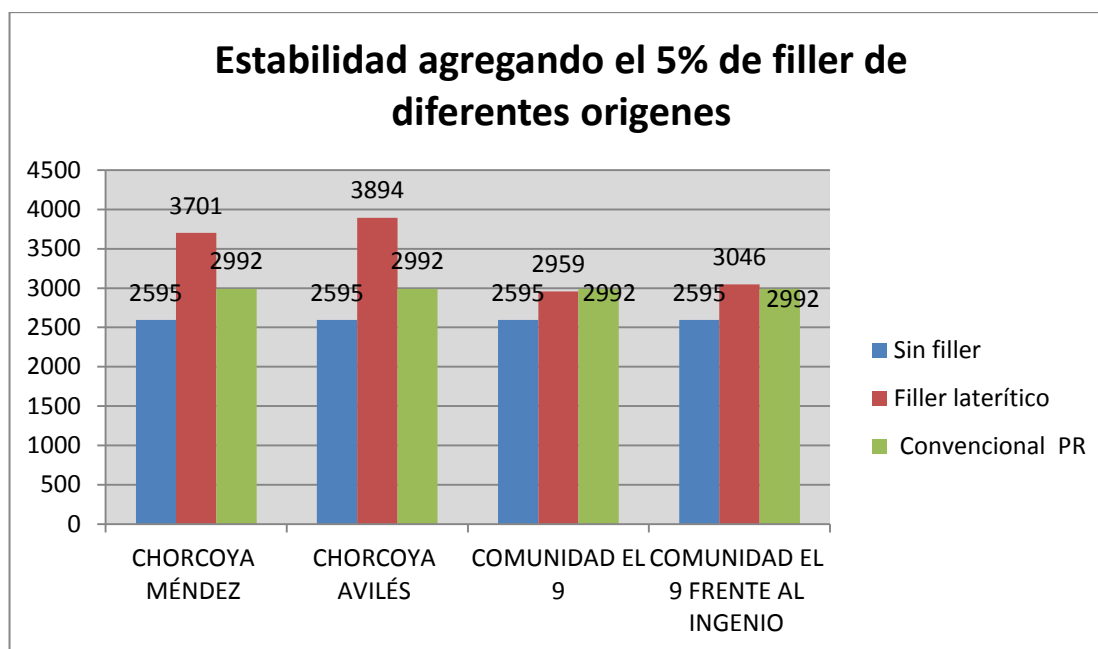
Gráfico 4.11: Comparativo de la estabilidad de la mezcla al agregar 4% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

La estabilidad sigue aumentando de manera proporcional para las mezclas a las que se le añadió filler laterítico mientras que para el filler polvo de roca se puede notar que ya llegó a su valor máximo de estabilidad.

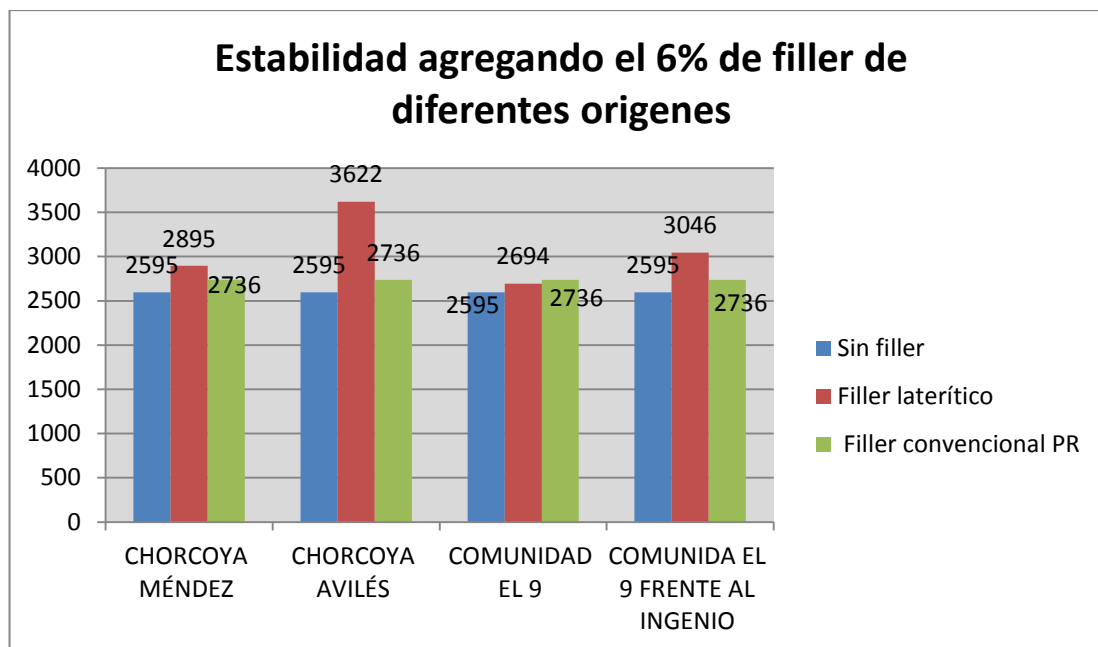
Gráfico 4.12: Comparativo de la estabilidad de la mezcla al agregar 5% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

Al añadir 5% de filler de origen laterítico a la mezcla asfáltica se puede observar que llega a su valor máximo de estabilidad para todos los casos mientras que la estabilidad de la mezcla convencional que utiliza polvo de roca va disminuyendo.

Gráfico 4.13: Comparativo de la estabilidad de la mezcla al agregar 6% de filler de diferentes procedencias

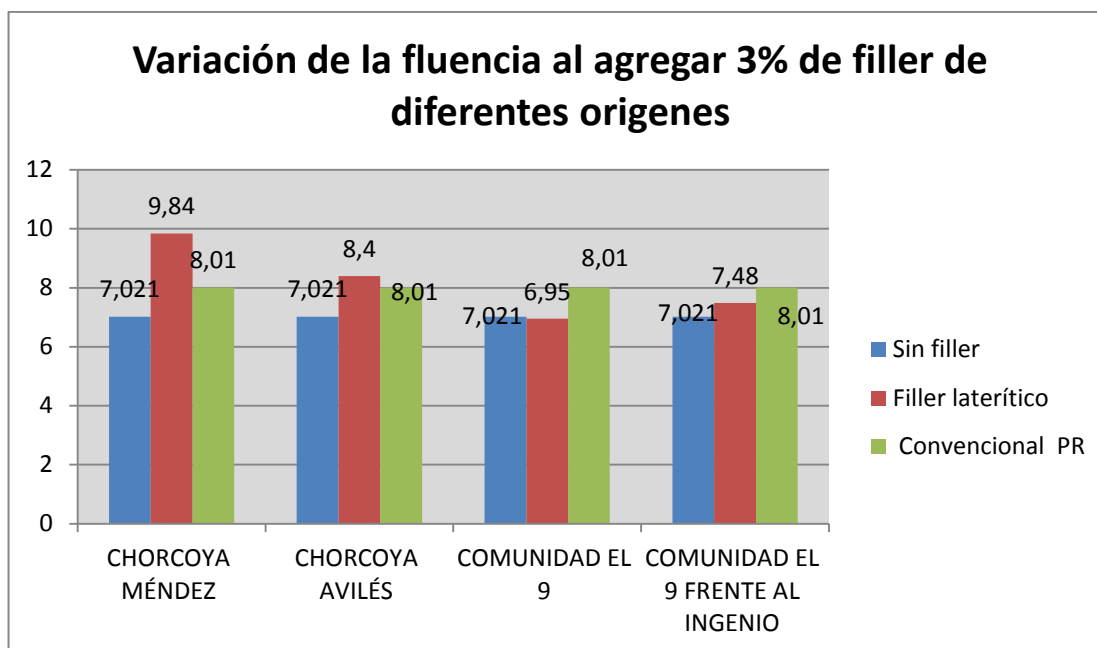


Fuente: Elaboración propia

La estabilidad con respecto a los diferentes porcentajes de fillers lateríticos provenientes de los 4 lugares y para los distintos porcentajes agregados nos dan valores elevados con respecto a las mezclas sin filler y mezclas convencionales estos valores altos de estabilidad podrían producir un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

- **Variación de la fluencia con el incremento de porcentajes de filler de diferentes orígenes .**

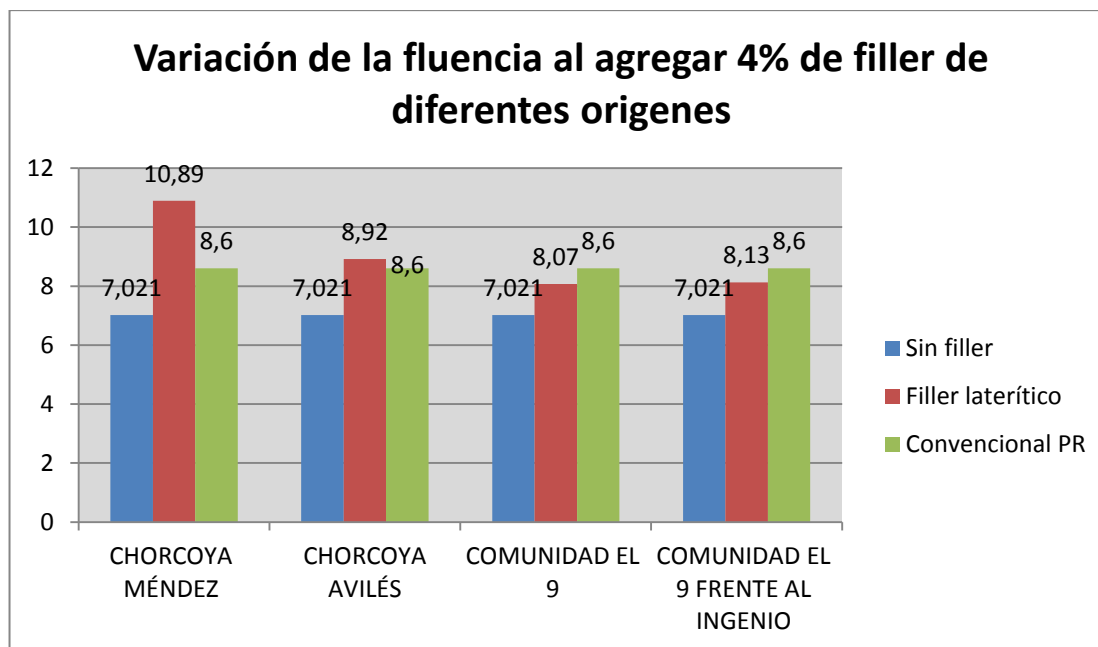
Gráfico 4.14: Comparativo de la fluencia de la mezcla al agregar 3% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

Con el incremento del porcentaje de filler se puede observar que la fluidez es alta en especial para Chorcoya Méndez al 6% que sobrepasa los rangos de fluencia especificados por lo que estamos en presencia de una mezcla asfáltica plástica que puede deformarse con las cargas de tránsito. Podemos decir que las mezclas convencionales cumplirían con la fluidez requerida.

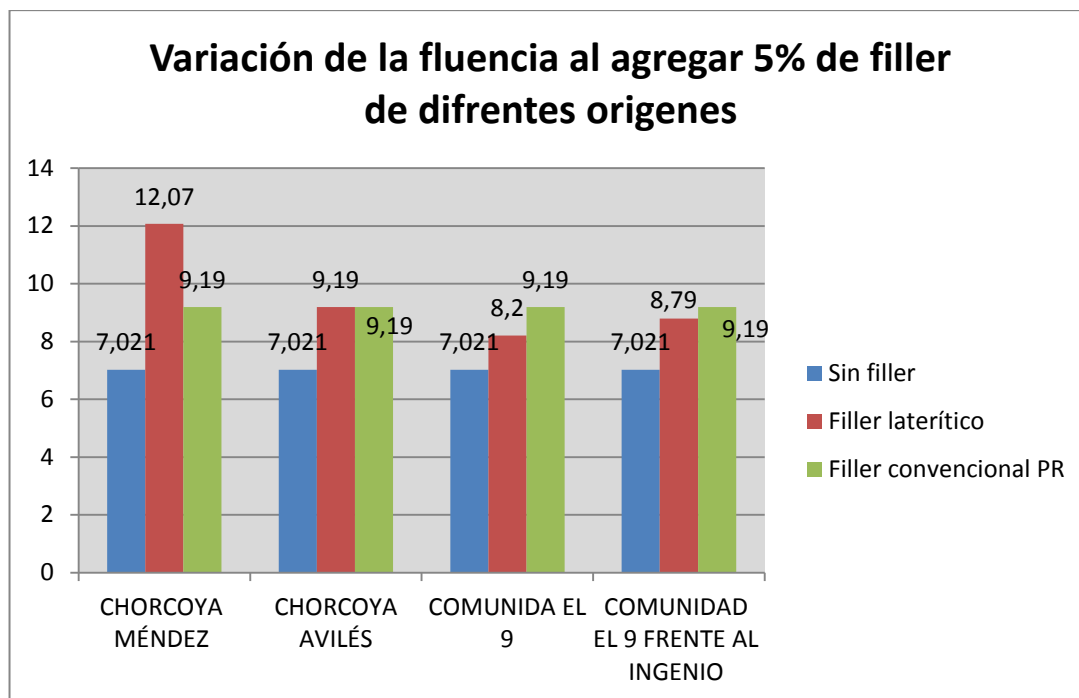
Gráfico 4.15: Comparativo de la fluencia de la mezcla al agregar 4% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

Con el incremento del porcentaje de filler se puede observar que la fluidez es alta en especial para Chorcoya Méndez al 6% que sobrepasa los rangos de fluencia especificados por lo que estamos en presencia de una mezcla asfáltica plástica que puede deformarse con las cargas de tránsito. Podemos decir que las mezclas convencionales cumplirían con la fluidez requerida.

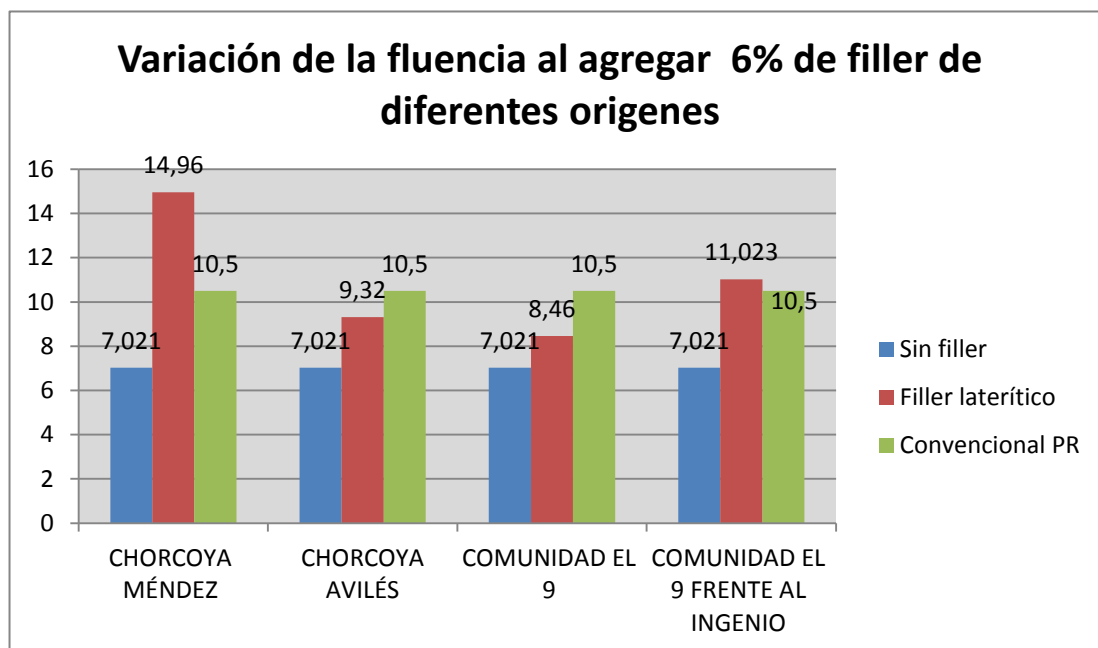
Gráfico 4.5: Comparativo de la estabilidad de la mezcla al agregar 5% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

Con el incremento del porcentaje de filler se puede observar que la fluidez es alta en especial para Chorcoya Méndez al 6% que sobrepasa los rangos de fluencia especificados por lo que estamos en presencia de una mezcla asfáltica plástica que puede deformarse con las cargas de tránsito. Podemos decir que las mezclas convencionales cumplirían con la fluidez requerida.

Gráfico 4.5: Comparativo de la estabilidad de la mezcla al agregar 6% de filler de diferentes procedencias



Fuente: Elaboración propia

Con el incremento del porcentaje de filler se puede observar que la fluidez es alta en especial para Chorcoya Méndez al 6% que sobrepasa los rangos de fluencia especificados por lo que estamos en presencia de una mezcla asfáltica plástica que puede deformarse con las cargas de tránsito. Podemos decir que las mezclas convencionales cumplirían con la fluidez requerida.

5.1 CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de investigación se han cumplido los objetivos planteados debido a que se logró elaborar una mezcla asfáltica con filler de origen laterítico y se pudo llegar a saber el efecto que tuvo en el comportamiento mecánico
- Mientras más porcentaje de filler laterítico de diferentes procedencias se le agregaba a la mezcla se evidenció que se reducen considerablemente los vacíos ya que este material resultó un buen rellenedor mineral.

Tabla 5.1: Porcentaje de vacíos para las mezclas asfálticas añadiéndole diferentes porcentajes de filler

Chorcoya Méndez	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
	%de vacíos en la mezcla	5.65	5.03	4.35	5.22
Chorcoya Avilés	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
	%de vacíos en la mezcla	4.69	4.21	4.26	4.98
Comunidad el 9	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
	%de vacíos en la mezcla	5.79	4.69	4.35	5.37
Comunidad el 9 frente al ingenio	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
	%de vacíos en la mezcla	6.82	5.58	4.65	5.13

Fuente: Elaboración propia

La durabilidad de un pavimento asfáltico está en función del contenido de vacíos la razón de esto es que mientras menor sea la cantidad de vacíos menor será la permeabilidad de la mezcla. Se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en tiempos cálidos.

- Mientras se aumenta el filler laterítico y el de polvo de roca la estabilidad de la mezcla fue aumentando hasta llegar a un valor máximo y después de este el valor empezó a decrecer.

Tablas 5.2: Valores de estabilidad al agregar diferentes porcentajes de filler laterítico a la mezcla asfáltica

Filler laterítico	Chorcoya Méndez	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
		Estabilidad de la mezcla	2814	3644	3701	2895
	Chorcoya Avilés	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
		Estabilidad de la mezcla	3424	3790	3894	3622
	Comunidad el 9	Porcentaje de filler	3%3	4%	5%	6%
		Estabilidad de la mezcla	2659	2907	2959	2694
	Comunidad el 9 frente al ingenio	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
		Estabilidad de la mezcla	2844	3136	3223	3046

Fuente: elaboración propia

Tablas 5.3: Valores de estabilidad al agregar diferentes porcentajes de filler polvo de roca la mezcla asfáltica

Filler Polvo de roca	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
	Estabilidad de la mezcla	2696	3115	2992	2736

Fuente: Elaboración propia

Pero hay que tener en cuenta que valores muy altos de estabilidad pueden ocasionar un pavimento demasiado rígido y por tanto menos durable que lo deseado.

- Para porcentajes altos de fillers lateríticos como filler polvo de roca añadidos a las mezclas asfálticas se observa que la fluencia aumenta considerablemente y especialmente en el filler laterítico proveniente de Chorcoya Méndez.

Tabla 5.4: Fluidez en la mezcla asfáltica al añadir diferentes de filler de origen laterítico

Filler laterítico	Chorcoya Méndez	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
		Fluencia	9.84	10.89	12.07	14.96
	Chorcoya Avilés	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
		Fluencia	8.4	8.92	9.19	9.32
	Comunidad el 9	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
		Fluencia	6.95	8.07	8.20	8.46
	Comunidad el 9 frente al ingenio	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
		Fluencia	7.48	8.13	8.79	11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.5: Fluidez en la mezcla asfáltica al añadir diferentes de filler polvo de roca

Filler polvo de roca	Porcentaje de filler	3%	4%	5%	6%
	Fluencia				

Fuente: elaboración propia

Valores altos de fluencia se reflejan en mezclas asfálticas demasiado plásticas que con el tiempo se deforman con las cargas de tránsito.

- Se puede decir que añadiendo filler de origen laterítico a la mezcla asfáltica en porcentajes de 4 y 5 se reducen los vacíos aumentando de esta manera la estabilidad de la mezcla y también la fluidez de ésta.
- Para que un suelo pueda ser utilizado como filler la plasticidad de éste debe ser baja o igual a cero en estas condiciones se puede decir que los resultados podrían ser satisfactorios en la mezcla asfáltica.
- La utilización de suelos lateríticos que se los encuentra mayormente en las zonas cálidas del chaco dieron buenos resultados aplicando pequeños porcentajes como filler a la mezcla asfáltica.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda no excederse en la adición de filler en la mezcla asfáltica ya que podrían generar pavimentos rígidos y frágiles.
- Se recomienda tener mucho cuidado en la utilización y manipulación los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos y también se recomienda utilizar ropa adecuada como guantes, barbijo, lentes y otros para evitar problemas de salud.
- Para realizar los ensayos se debe tomar en cuenta todas las especificaciones mencionadas en las guías o manual, para que los resultados sean más precisos.
- Para el diseño de las mezclas se debe dar mucha importancia a la temperatura, todos los equipos tienen que estar a la temperatura especificada en la norma, como ser el martillo, moldes, los agregados como así también para realizar el rompimiento de las briquetas se las debe hacer a las 24 horas después de confeccionarlas tomando en cuenta todos los aspectos mencionados en la norma.
- También se recomienda que previamente al pavimentado de cualquier carretera se debe planificar de manera adecuada, es decir tener una ruta crítica, tomar en cuenta las condiciones climáticas, el estado de todas las maquinarias necesarias, el personal necesario, sobre todo que las plantas productoras de las mezclas deben estar a poca distancia de la obra.