

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La mezcla asfáltica se puede definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto.

Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento. El diseño, implementación y construcción de estructuras de pavimentos flexibles es la alternativa de pavimentación más económica como técnica en las obras de infraestructura vial para vías de segundo y tercer orden. Sin embargo, a pesar de esta consideración, estas obras han sufrido inconvenientes y fallas que han generado una disminución considerable en su efectividad y durabilidad, generando como consecuencia una incomodidad en los usuarios que utilizan estos corredores, ya que el mantenimiento en estas vías restringe su uso.

Tal afirmación ha llevado a buscar nuevas alternativas en lo que se refiere a los materiales que componen la mezcla asfáltica para mejorar su capacidad de respuesta mecánica y dinámica, por ejemplo, adiciones como la laterita y ripio.

Las características del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica se alcanzan utilizando una granulometría incompleta combinada con laterita y ripio y un contenido de ligante, las mezclas asfálticas serán evaluadas con diferentes ensayos de laboratorio para cuantificar, el comportamiento de este tipo de mezclas ante las deformaciones permanentes y agrietamientos por fatiga.

Los principales factores que afectan la durabilidad de las mezclas asfálticas, asumiendo que se encuentran bien construidas son: la edad de envejecimiento y el daño por humedad.

Es decir, una mezcla asfáltica debe ser diseñada y construida no solo para que resista las cargas impuestas por el tránsito sino también la acción del medio ambiente. Cuantificar la influencia que tiene el ambiente sobre el comportamiento de este tipo de material no

es una tarea fácil. La forma como se realiza actualmente es separando cada uno de los componentes que lo conforman (agua, temperatura y rayos ultra-violeta entre otros) y evaluar la influencia de cada uno de ellos (desde el punto de vista mecánico) de manera separada sobre el ligante y las mezclas.

La presente investigación es una aportación al estudio de las mezclas asfálticas de granulometría densa, particularmente en aspectos relativos a su diseño y control.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Con el paso del tiempo se han implementado nuevas metodologías, asociadas a los diseños de los diferentes pavimentos permitiendo un incremento de la vida útil y de menos actividades de mantenimiento y a la vez la posibilidad de construir y dar una puesta en servicio en un tiempo reducido a las obras viales.

Resulta provechoso este estudio ya que los materiales a ser analizados son muy accesibles y que cualquier proyecto de pavimento flexible se encuentra el presente problema.

En la búsqueda de una solución, se fijó como objetivo de este estudio, incorporar laterita y ripio en la dosificación de las mezclas asfálticas para los pavimentos flexibles, con la finalidad de tener nuevas alternativas de materiales para la construcción de mezclas asfálticas, de esta manera ofrecer una posible solución a la disposición final de este material y así disminuir los efectos económicos.

En tal sentido en base a la sistematización de estudios y resultados de ensayos de laboratorio que evalúan el comportamiento futuro de mezclas asfálticas, el objetivo de la presente tesis es proponer un ensayo de laboratorio que permita caracterizar adecuadamente el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas no convencionales elaboradas con laterita y ripio en las condiciones propias del medio, demostrando que son adecuadas para su utilización en las vías del territorio nacional.

El diseño, construcción y mantenimiento de las carreteras en Bolivia se desarrolla en un complejo escenario conformado por una difícil topografía y una geología con abundantes zonas inestables y las acciones meteorológicas. El reto se dificulta en

extremo por las restricciones económicas que con frecuencia con llevan a adoptar especificaciones y soluciones de construcción, algunas de las cuales se transforman en problemas de comportamiento de las carreteras se pueden jerarquizar con distintos criterios, el generado por la falta o carencia de material pétreo en la construcción de la mezcla asfáltica son los principales, siempre con el propósito de reducir el costo de la construcción.

Debido a la situación económica del país y a la gran cantidad de pérdidas (tanto humanas como materiales) que ocurren al transitar las diferentes carreteras, se hace necesario contar con los criterios adecuados para la óptima implementación de este material, tanto económica como funcional, realizar la evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas no convencionales elaboradas con laterita y ripio.

La elaboración de las mezclas asfálticas con estos materiales permitirá un mayor desarrollo a un menor costo, y las secuelas por falta de material se verán reducidas en la red vial, lo que traerá consigo un mayor bienestar para las personas.

Lo anterior sólo se puede llevar a cabo si se cuenta con la información precisa de cómo se comporta la laterita y ripio en las mezclas asfálticas que lo constituye que permita identificar las soluciones más adecuadas y viables a cada problema de escases de material.

1.3. DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1. Situación problemática

La red vial es una infraestructura básica y fundamental para el desarrollo del país, con el transcurrir del tiempo la ingeniería ha realizado estudios implementando la utilización de desechos como materia prima que permiten mejorar el comportamiento de las obras y a su vez disminuir el impacto ambiental y económico que ocasionan estos.

Se ha trabajado en la búsqueda de soluciones para mejorar el diseño de los pavimentos flexibles empleando nuevos materiales de desecho o residuo obteniéndose un desarrollo significativo en sus condiciones de durabilidad, resistencia y más importante aún,

disminuyendo costos y daños al ambiente lo que hoy en día resulta de vital importancia en la rama de la construcción.

Los pavimentos flexibles son ampliamente utilizados en la mayoría de los países. Las mezclas asfálticas asumen un papel fundamental en los pavimentos flexibles no sólo por los volúmenes requeridos en su construcción, sino porque constituyen la parte más costosa de los mismos y la superficie por la que transitan diariamente los millones de vehículos, que resuelven gran parte de las necesidades de movilidad en las sociedades humanas contemporáneas.

Se pretende emplear la laterita y ripio dentro de la dosificación en mezclas asfálticas, lo cual sería una alternativa de solución para elaborar la mezcla asfáltica y mitigar el problema de la falta de material, además de que se reducen los costos de los materiales empleados en la construcción de obras de infraestructura vial.

Frecuentemente, las mezclas asfálticas no convencionales que se realizan en las carreteras, llevando serios problemas que afectan la economía de los usuarios y los lugares que unen, sin mencionar el hecho de que se requiere una mayor inversión para su construcción.

1.3.1.2. Problema

El problema es la falta o escases de material o de los agregados pétreos para la construcción de las mezclas asfálticas en el lugar de emplazamiento de la obra. Lo cual genera riesgos en la construcción, por lo tanto se realizara la elaboración de mezclas asfálticas no convencionales elaboradas con laterita y ripio. ¿Sera una alternativa de solución?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento mecánico y las características de una mezcla asfáltica no convencional elaborada con laterita y ripio, dando una alternativa para la elaboración de mezclas asfálticas en nuestra región.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar conceptos relacionados con la evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas y sus componentes.
- Realizar la caracterización de los materiales que conforman la mezcla asfáltica mediante la norma AASHTO T 27 y AASHTO M 145.
- Elaborar la mezcla asfáltica con material laterítico y ripio.
- Evaluar la estabilidad y flujo Marshall en las mezclas de estudio mediante el ensayo Marshall.
- Obtener los resultados, mediante diferentes tipos de ensayos, que permitan establecer si la adición de material laterita y ripio es una alternativa viable para la utilización en mezclas asfálticas. Interpretar y analizar el comportamiento de las mezclas asfálticas en función a los resultados obtenidos en la investigación.
- Establecer las conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos en la investigación.

1.5. HIPÓTESIS

Si la mezcla asfáltica es elaborada con material laterítico y ripio de manera no convencional entonces podemos realizar una evaluación del comportamiento mecánico de esa mezcla a través del ensayo del método Marshall teniendo como indicadores a la estabilidad y la fluencia.

1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1. Variables independientes

Material laterítico y ripio en mezclas asfálticas.

1.6.2. Variables dependientes

Comportamiento mecánico estabilidad y fluencia.

1.6.3. Conceptualización y operacionalización de variables

Tabla 1.1. Conceptualización y Operacionalización de Variables

VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACIÓN	OPERACIONALIDAD		
		Dimensiones	Indicador	Valor acción
VARIABLE INDEPENDIENTE Porcentaje de material Laterítico y ripio en las Mezclas asfálticas.	Se refiere a los distintos porcentajes de material laterítico y ripio que se adicionarán a la mezcla asfáltica no convencional	Contenido de humedad	0% de humedad	Control de sequedad
		Estado de material	Seco	Peso en(gr)
VARIABLE DEPENDIENTE Comportamiento Mecánico Estabilidad Fluencia (Marshall)	Parámetros, que caracterizan a la resistencia de una mezcla asfáltica.	Agregados de aportación	Caracterización	Granulometría
				Peso Específico
				Desgaste de los Ángeles
				Equivalente de Arena
		Mezcla asfáltica	Cemento asfáltico convencional	Ensayos Método Marshall
	Cemento asfáltico con (0, 2, 4, 6, 8) porcentajes de material laterita y (100, 98, 96, 92) de ripio.			

Fuente: elaboración propia

1.7. DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1. Componentes

1.7.1.1. Unidad

Mezclas asfálticas no convencionales.

1.7.1.2. Población

Mezclas asfálticas elaboradas con material laterítico y ripio.

1.7.1.3. Muestra

La muestra de este trabajo se basa en la mezcla asfáltica elaborada con material laterítico y ripio, que serán estudiados y analizadas por el método Marshall.

1.7.1.4. Muestreo

- Se realizará el muestreo del cemento asfáltico STRATURA de Brasil C. A. 85 – 100.
- Para el desarrollo de esta investigación, se obtuvo la muestra de material laterita del tramo Entre Ríos- Serere (Provincia O’connor) y una muestra de ripio del río Guadalquivir de Tarija.

1.7.2. Métodos y técnicas empleadas

1.7.2.1. Métodos

Se realizara el método inductivo ya que es un método científico que alcanza conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes en particular.

Elaborar una mezcla asfáltica no convencional con material laterita y ripio se pretende evaluar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica.

1.7.2.2. Técnicas

Se realizara la técnica experimental; está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver con una serie de ensayos en laboratorio.

Para poder obtener los datos necesarios para poder realizar la investigación del comportamiento mecánico de la mezcla no convencional elaborada con material laterita y ripio realizaremos una serie de ensayos en laboratorio como:

A. Ensayo a los materiales: Granulometría, Límites de Atterberg, (Límite líquido, Límite plástico, Índice de plasticidad), Resistencia al desgaste, Peso específico (agregado fino y agregado grueso), peso unitario (agregado grueso y fino), equivalente de arena, peso unitario (agregado grueso y fino).

B. Ensayo al cemento asfáltico: Penetración, viscosidad, punto de inflamación, peso específico.

C. Ensayos a la mezcla asfáltica: Ensayo de estabilidad y flujo Marshall, contenido de asfalto efectivo de la mezcla, porcentaje de vacíos en la mezcla (Vv), porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), porcentaje de vacíos llenos de asfaltos (R.B.V), densidad.

1.7.2.3. Medios

A. Para la caracterización de los agregados

Para los agregados de aportación:

- **Horno Eléctrico.-** El horno eléctrico es utilizado para el secado de los agregados de aportación, y debe contar con una temperatura constante de 100 a 110 °C.
- **Balanza.-** La balanza es usada para obtener los distintos pesos que se requiera, con una sensibilidad de 0.1 gr.
- **Juego de Tamices.-** El juego de tamices debe seguir la norma ASTM E-11, lo cual contiene los tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200, tapa y fondo.

B. Para la caracterización del cemento asfáltico

Para el cemento asfáltico de aportación:

- **Penetrómetro de Asfalto.-** Que sirve para determinar la penetración del betún en estudio.
- **Viscosímetro del Asphalt Institute y el baño de viscosímetro Saybolt.-** Con los cuales se determina la viscosidad del betún en estudio.

- **Aparato para la determinación del punto de inflamación Cleveland de copa abierta.-** Con el cual se determina el punto de Ignición o punto de llama del betún en estudio.
- **Peso Específico.-** Que sirve para determinar la densidad del cemento asfáltico.
- **Punto de reblandecimiento Anillo y Bola.-** sirve para calcular el índice de penetración y estimar mediante su valor la susceptibilidad de los asfaltos.

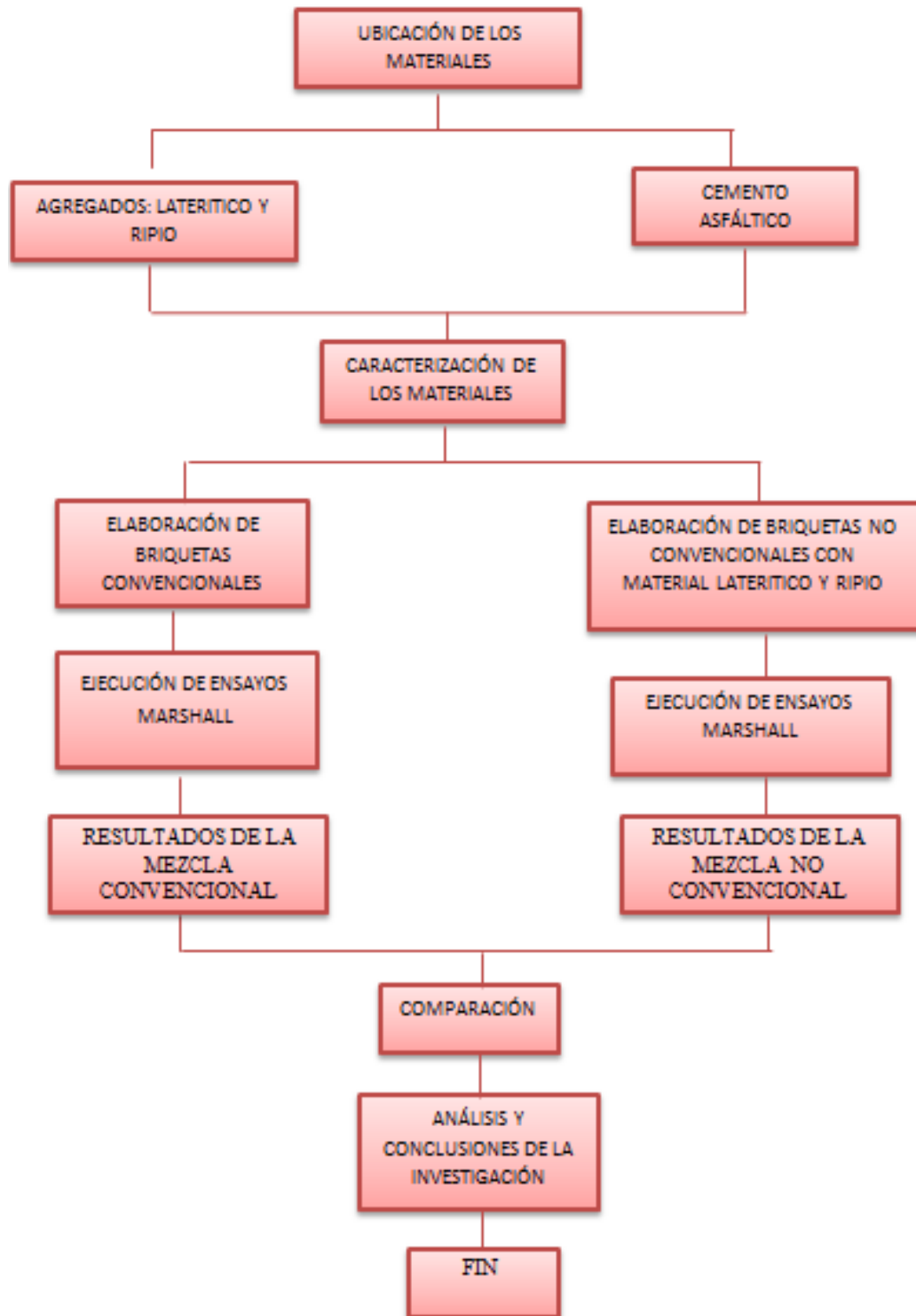
C. Para la dosificación y diseño de briquetas

- **Moldes de compactación Marshall.-** En estos moldes se vaciará la mezcla bituminosa reciclada, creando briquetas con distintos porcentajes de betún.
- **Compactador para moldes Marshall.-** Este compactador sirve para compactar las briquetas según especificaciones técnicas.

D. Para los ensayos de resistencia técnica

- **Marco de carga multiplex Marshall.-** Este marco sirve para disponer en él los distintos cabezales, según las pruebas que se requiera.
- **Cabezal de Rotura Marshall.-** Este cabezal junto con el marco multiplex, permite realizarlos ensayos de estabilidad y fluencia para las briquetas en análisis.

1.8. METODOLOGÍA



1.8.1. Procedimiento metodológico

La materia prima utilizada en la ejecución del presente trabajo consistió en material laterita y ripio, asfalto. La elaboración se realizara siguiendo las siguientes etapas:

a) Ubicación de los materiales para la mezcla

Se escogió una granulometría para el agregado de las muestras Marshall el material laterita es procedente del tramo Entre Ríos- Sereré (Provincia O'Connor) y el ripio del rio Guadalquivir de Tarija; el cemento asfaltico STRATURA de Brasil C. A. 85 – 100.

b) Caracterización de los agregados

Los materiales pétreos para la construcción de mezclas asfálticas no convencionales elaboradas con material laterita y ripio son suelos provenientes de ríos y cerros, y de depósitos naturales, los cuales requieren de cribado para poder utilizarse. Las características más importantes que deben satisfacer los materiales pétreos son: la granulometría, la dureza.

- **Granulometría.** El objetivo de esta prueba es determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños que forman el agregado, para realizar la prueba se hace uso de mallas por las que se hace pasar el material y se pesa el total de partículas retenido en cada malla para obtener un porcentaje de la cantidad de agregado que paso cada abertura de la malla.
- **Peso específico.** El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

Determinar la gravedad específica y la absorción de agua en áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

- **Dureza.** Se utilizan la prueba de desgaste Los Ángeles en la cual se coloca el material con una granulometría determinada, dentro de un cilindro hueco junto con bolas de acero y se hace girar.

B. Caracterización del cemento asfáltico

Las principales pruebas que se realizan al cemento asfáltico son las que se describen brevemente a continuación:

- **Penetración de Asfalto.-** Determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal. Esta se hace a 25 °C, calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100 g y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro.
- **Viscosidad.-** La prueba consiste en determinar el tiempo que tarda en pasar 60 cm³ del material a probar a través de un orificio Furol, instalado en un tubo de Viscosidad Saybolt, bajo condiciones de carga y temperatura preestablecida.
- **Punto de inflamación.-** Con el cual se determina el punto de Ignición o punto de llama del betún en estudio.
- **Peso Específico.-** Se entiende como peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C. Además de dar una identificación de la calidad y origen del material, el peso específico es útil para determinar el peso por unidad de volumen de un ligante calentado a la temperatura de aplicación
- **Punto de reblandecimiento.-** Este método se utiliza para determinar el punto de ablandamiento del betún en el intervalo de 30° a 157° C (86° a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C). Se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una muestra sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina.

C. Dosificación de briquetas con material laterítico y ripio

Las briquetas fueron elaboradas utilizando la dosificación cuyas características granulométricas se ajustaron a las especificaciones granulométricas establecidas para el tipo de mezclas utilizando material proveniente de la región de Tarija, al cual se realizó el respectivo tamizado y clasificación, para los distintos diseños haciendo variar el porcentaje de material laterita para así poder determinar un diseño óptimo.

D. Diseño mezclas asfálticas no convencionales con material laterítico y ripio

A las muestras con 0%, 2%, 4%, 6% y 8% y 10% de material laterita y ripio se les realizó el ensayo Marshall, Ensayo de estabilidad y flujo Marshall, contenido de asfalto efectivo de la mezcla, porcentaje de vacíos en la mezcla (Vv), porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), porcentaje de vacíos llenos de asfaltos (R.B.V), densidad para determinar cuál era el porcentaje óptimo.

1.9. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

Utilizando los parámetros arrojados después de utilizar el método Marshall como son estabilidad, flujo, donde se encuentra el módulo por medio de la utilización de los parámetros de estabilidad y el flujo de distintos diseños a diferentes porcentajes de laterita a partir de 108 ensayos para evaluar cuál es el porcentaje más adecuado para el diseño.

1.10. Alcance del estudio de aplicación

El presente trabajo, está enmarcado en el análisis comparativo de mezclas asfálticas elaboradas con material laterita y ripio, no convencional. El análisis se desarrolló sustituyendo los materiales pétreos dentro de la combinación granulométrica de diseño para mezclas por el material laterita y ripio proveniente de la región, luego se procedió a realizar el estudio del comportamiento a través del método Marshall, con el propósito de determinar la viabilidad del uso de este material en mezclas asfálticas.

Se determinará si las mezclas asfálticas no convencional elaboradas con material laterita y ripio satisfacen los requerimientos mínimos deseados de acuerdo a especificaciones de las mezclas asfálticas según norma.

En el primer capítulo en este capítulo se dará a conocer un enfoque sobre mezclas asfálticas, como así también se da a conocer los objetivos de la investigación y el problema de la misma.

En el capítulo segundo se muestra la definición, clasificación, tipología, propiedades, comportamiento, composición y caracterización mecánica de las mezclas asfálticas con el fin de ajustar y encaminar la investigación.

En el capítulo tres se da a conocer paso a paso la fabricación de una mezcla asfáltica con material laterítico y ripio realizando la caracterización de los materiales, los distintos ensayos a los agregados, diseño de la mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Asimismo, se presenta el desarrollo de los ensayos de estabilidad y fluencia, determinación de la densidad aparente, determinación de la densidad máxima teórica, determinación del porcentaje óptimo de asfalto, ensayo de contenido asfáltico, ensayo de cántabro de pérdida por desgaste, fatiga.

Por último la elaboración de la mezcla asfáltica con laterita y ripio, realizando las características, el análisis y caracterización de las mezclas asfálticas no convencional con laterita y ripio evaluando su estabilidad y fluencia.

Finalmente, se presentarán los resultados de las características mecánicas de las mezclas asfálticas no convencionales.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

Es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utilizan para construir firmes o la carpeta de rodadura.

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

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

Las mezclas asfálticas asumen un papel muy importante y fundamental en los pavimentos flexibles porque constituyen la parte más costosa de toda la estructura; deben ser realizadas en proporciones exactas.

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

2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.2.1. Por fracciones de agregado pétreo empleado

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.

- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

2.2.2. Por la temperatura de puesta en obra

- 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.
- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

2.2.3. Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6% y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

2.2.4. Por el tamaño máximo del agregado pétreo

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10mm.
- Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del

agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

2.2.5. Por la estructura del agregado pétreo

- **Mezclas con Esqueleto mineral:** Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- **Mezclas sin Esqueleto mineral:** No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

2.2.6. Por la granulometría

- **Mezclas Continuas:** Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.
- **Mezclas Discontinuas:** Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.

Tabla 2.1. Clasificaciones de las mezclas asfálticas

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frío
	En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas (h< 6%)
	Semicerradas (6%<h<12%)
	Abiertas (h>12%)
	Porosas (h>20%)
Tamaño máximo del agregado (t máx)	Gruesas (t máx > 10 mm)
	Finas (t máx < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

Fuente: Generalidades sobre mezclas asfáltica

2.3. TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.3.1. Mezcla asfáltica en caliente

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 (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente. (Pliego de Prescripciones Técnicas Generales art. 542 y 543 PG-3.)

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 asfalto en volumen de agregados pétreos.

2.3.2. Mezcla asfáltica en frío

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de

rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

2.3.3. Mezcla porosa o drenante

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón.

Utilizadas como mezclas en caliente para tráficos de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm., se consigue que el agua de lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración.

2.3.4. Microaglomerados

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm, lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. Tanto los micro aglomerados en Frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los micro aglomerados en Caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3 cm.) tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones.

Tradicionalmente se han considerado adecuados para las zonas urbanas, porque se evitan problemas con las alturas libres de los gálibos y la altura de los bordillos debido a que se extienden capas de pequeño espesor.

Hay micro aglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados, para las vías de alta velocidad de circulación.

2.3.5. Masillas

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que si hay agregado grueso, se haya disperso en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibras. Los asfaltos fundidos, son de este tipo, son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.

2.3.6. Mezclas de alto módulo

Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6 % de la masa de los agregados pétreos, la proporción del polvo mineral también es alta, entre el 8% - 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad, del orden de los 13,000 Mpa. A 20 grados centígrados y una resistencia a la fatiga relativamente elevada. Se utilizan en capas de espesores de entre 8 y 15 cm., tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráfico pesados de intensidad media o alta. Su principal ventaja frente a las bases de grava cemento es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción o como las mezclas convencionales en gran espesor la ventaja es una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, permitiendo ahorrar espesor.

2.4. PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo y granulometría del agregado a emplear, y de la selección del tipo y contenido de asfalto, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas en la mezcla y se satisfagan los requisitos específicos del proyecto. La selección apropiada de los materiales (con la calidad suficiente) que constituirán la mezcla y de sus proporciones correctas, requiere el conocimiento de las propiedades más significativas de las mezclas, y de su influencia en el comportamiento del pavimento (Cepeda, 2002). Para una aplicación específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado, las propiedades relevantes en una mezcla asfáltica en caliente son:

2.4.1. Estabilidad

Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la deformación y el desplazamiento, debidos a las cargas que resultan del tránsito vehicular. Un pavimento es estable cuando conserva su forma; y es inestable cuando desarrolla deformaciones permanentes, corrugaciones y otros signos de desplazamiento de la mezcla.

La estabilidad depende sobre todo, de la fricción interna y la cohesión. La fricción interna depende de la textura superficial, forma de la partícula, y granulometría del agregado; así como de la densidad de la mezcla, y la cantidad y tipo de asfalto; mientras que la cohesión depende del contenido de asfalto. La cohesión se incrementa con el incremento del contenido de asfalto, hasta un punto óptimo, después del cual el aumento en el contenido de asfalto forma una película demasiado gruesa en las partículas de asfalto, lo que produce una pérdida de fricción entre las partículas de agregado.

2.4.2. Durabilidad

Es la propiedad de la mezcla asfáltica que describe su capacidad para resistir los efectos perjudiciales del aire, agua, temperatura y tránsito que pueden provocar envejecimiento del asfalto, desintegración del agregado y desprendimiento de la película de asfalto del

agregado. Una buena mezcla asfáltica no debe sufrir envejecimiento excesivo durante la vida en servicio. Esta propiedad se relaciona con el espesor de la película de asfalto, y con los vacíos de aire.

2.4.3. Impermeabilidad

Es la resistencia al paso de agua y aire hacia el interior, o a través de la mezcla asfáltica. La resistencia al daño por humedad se relaciona con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos de aire en la mezcla compactada, y por tanto con los procesos de oxidación del asfalto, su adherencia y el drenaje del pavimento.

2.4.4. Trabajabilidad

Es la propiedad relacionada con la facilidad con que la mezcla asfáltica es colocada y compactada in situ. Una buena mezcla debe ser capaz de permitir su colocación y compactación, sin que se requiera un esfuerzo demasiado grande.

Esta propiedad, generalmente depende de uno, o una combinación, de los siguientes factores: características del agregado, la granulometría, el contenido, y la viscosidad del asfalto.

2.4.5. Flexibilidad

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para amoldarse, sin sufrir agrietamiento o fisuración, a los asentamientos y movimientos graduales de la base y la subrasante. En ocasiones esta propiedad presenta conflictos con los requerimientos de estabilidad.

2.4.6. Resistencia a la fatiga

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir cargas repetidas causadas por el paso de los vehículos. El agrietamiento por fatiga está relacionado con el contenido y la rigidez del asfalto. Por su parte, los contenidos de asfalto muy altos harán que la mezcla tienda más a deformarse elásticamente (o a deformarse menos) que a fracturarse bajo carga repetida. Aunque también debe señalarse que la resistencia a la fatiga depende en gran medida de la relación entre el espesor estructural de la capa y la carga.

2.4.7. Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no perder adherencia entre el neumático y la superficie de rodamiento, en particular cuando está húmeda. Una resistencia al deslizamiento baja se relaciona generalmente con las características del agregado y el contenido de asfalto.

2.5. CARACTERÍSTICA DEL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto.

Cada una de estas características tiene mucha importancia en el comportamiento de la mezcla.

2.5.1. Densidad de la mezcla

Es la relación entre el peso de la mezcla por unidad de volumen. Si bien es cierta que esta característica no es utilizada en el diseño de la mezcla, se emplea para los controles de compactación. A la mezcla asfáltica compactada en el laboratorio se le asigna la densidad patrón y será ésta el punto de referencia en los controles.

2.5.2. Vacíos de aire o vacíos

Están conformados por el aire atrapado en la mezcla compactada.

A menor porcentaje de vacíos de aire la mezcla será menos permeable. En el diseño de mezclas convencionales, los vacíos de aire están entre 3 a 5% en laboratorio, pero en campo se permite tener vacíos de aire no mayores al 8% permitiendo que la carpeta se compacte bajo tránsito.

La densidad de la mezcla está en función del contenido de vacíos, mezclas con menor porcentaje de vacíos serán más densas, y viceversa. Un alto porcentaje de vacíos de aire resulta en una mezcla porosa, que permite el paso del agua a través de su estructura, pero además puede causar deterioro debido a que hay mayor porcentaje de

aire (el aire oxida el asfalto). Bajos porcentajes de vacíos de aire son perjudiciales en la mezcla, debido a que cuando soporta las cargas de tránsito la carpeta se comprime y el asfalto se acomoda en los vacíos atrapados, si el número de vacíos es pequeño, el asfalto no podrá acomodarse en el interior y tendrá que salir a la superficie, esto se conoce como exudación.

2.5.3. Vacíos en el agregado mineral (vma)

Consideran los volúmenes ocupados por los vacíos de aire atrapados y el asfalto efectivo. El diseño considera un porcentaje mínimo de VMA dependiendo del tamaño del agregado. Si el porcentaje de VMA son bajos la película de asfalto será delgada y la mezcla será susceptible a oxidación. Con altos porcentajes de VMA la película de asfalto será más gruesa y la mezcla será más durable.

Una graduación densa puede reducir el porcentaje de VMA, reduciendo la película de asfalto y, por consiguiente, reduciendo la durabilidad de la mezcla y dándole un aspecto seco.

2.5.4. Contenido de asfalto

Es el porcentaje de asfalto que se incorpora en la mezcla. Parte del asfalto será absorbido por el agregado y el resto de asfalto formará una película que rodean las partículas. A los primeros se les denomina *asfalto absorbido* y al segundo *asfalto efectivo*.

El óptimo contenido de asfalto de la mezcla está en función de la granulometría y el porcentaje de absorción del material. Mezclas con alto porcentaje de filler (mayor superficie específica) requerirán mayor porcentaje asfalto.

2.6 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS

2.6.1 Generalidades

Un factor importante que debe ser considerado en el comportamiento de mezclas asfálticas son las relaciones volumétricas entre el ligante asfáltico y los agregados.

Las propiedades volumétricas más importantes de una mezcla compactada de pavimento son: vacíos de aire (V_a), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto

(VFA), y contenido de asfalto efectivo (P_{be}), proporcionan un índice del probable comportamiento de la mezcla durante su vida de servicio.

2.6.2 Definiciones

El agregado mineral es poroso y puede absorber agua y asfalto en diferentes grados.

Además, la proporción de agua a asfalto absorbido varía con el tipo de agregado. Los tres métodos para medir las gravedades específicas de los agregados consideran estas variaciones.

Los métodos son: gravedad específica bulk, gravedad específica aparente y gravedad específica efectiva. La diferencia entre las gravedades específicas viene de las diferentes definiciones de volumen del agregado.

a) Gravedad Específica Bulk, G_{sb}

La relación del peso en el aire de un material permeable (incluyendo los vacíos permeables e impermeables del material) a temperatura establecida al volumen del agregado incluyendo los vacíos permeables.

$$G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

Dónde:

G_{sb} : gravedad específica bulk del agregado

W_s : peso del agregado seco

V_s : volumen del agregado con los vacíos impermeables

V_{pp} : volumen de vacíos permeables

γ_w : peso específica del agua, 1 gr/cm³

b) Gravedad Específica Aparente, G_{sa}

Es la relación del peso en el aire de un material impermeable con respecto al volumen

del agregado incluyendo los vacíos impermeables

$$G_{sa} = \frac{W_s}{V_s\gamma_w}$$

Dónde:

Gsa: gravedad específica aparente

Ws: peso del agregado seco

Vs: volumen del agregado con los vacíos impermeables

Γ_w : peso específica del agua, 1 gr/cm³

c) Gravedad Específica Efectiva, Gse

Relación del peso en el aire de un material permeable (excluyendo los vacíos permeables al asfalto) con respecto al volumen del agregado con los vacíos impermeables y vacíos permeables que no absorbieron asfalto.

$$G_{se} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp} - V_{ap}) \Gamma_w}$$

Dónde:

Gse: gravedad específica efectiva

Ws: peso del agregado seco

Vs: volumen del agregado con los vacíos impermeables

Γ_w : peso específico del agua, 1 gr/cm³.

Las definiciones de vacíos en el agregado mineral (VMA), contenido de asfalto efectivo (Pbe), vacíos de aire (Va), y vacíos llenos con asfalto (VFA) son:

d) Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Volumen de vacíos entre los agregados de una mezcla compactada que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado en porcentaje del volumen total de la mezcla. Ver figura 2.1.

e) Contenido de asfalto efectivo (Pbe)

El contenido de asfalto total de la mezcla menos la porción de asfalto absorbida por el agregado. Ver figura 2.1.

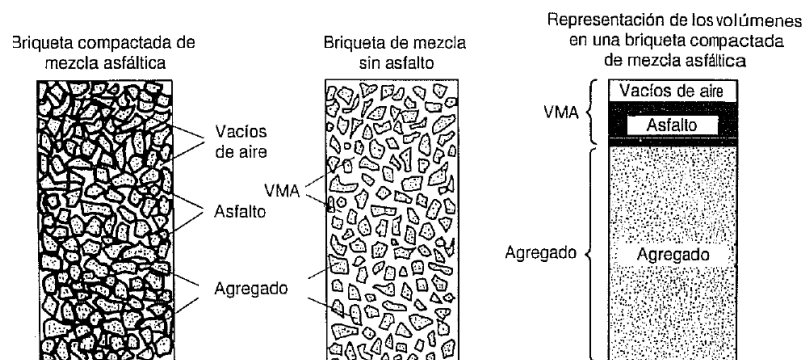
f) Vacíos de aire (Va)

Volumen total de las pequeñas cavidades de aire entre las partículas de agregado cubiertas en toda la mezcla, expresada como porcentaje del volumen bulk de la mezcla compactada. Ver figura 2.1.

g) Vacíos llenos con asfalto (VFA)

Porción del volumen de vacíos entre las partículas de agregado (VMA) que es ocupado por el asfalto efectivo. Figura 2.1.

Figura 2.1. Esquema de una Muestra VMA en una probeta de mezcla Compactada



Fuente: instituto del asfalto (Chile)

Dónde:

VMA: porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

La gravedad específica efectiva es la base para el cálculo de los vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas.

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) y los vacíos de aire (V_a) se expresan como porcentaje por volumen de mezcla. Los vacíos llenos con asfalto (VFA) es el porcentaje de

VMA lleno con asfalto efectivo. El contenido de asfalto puede expresarse como porcentaje del peso total de la mezcla, o por peso, del agregado de la mezcla.

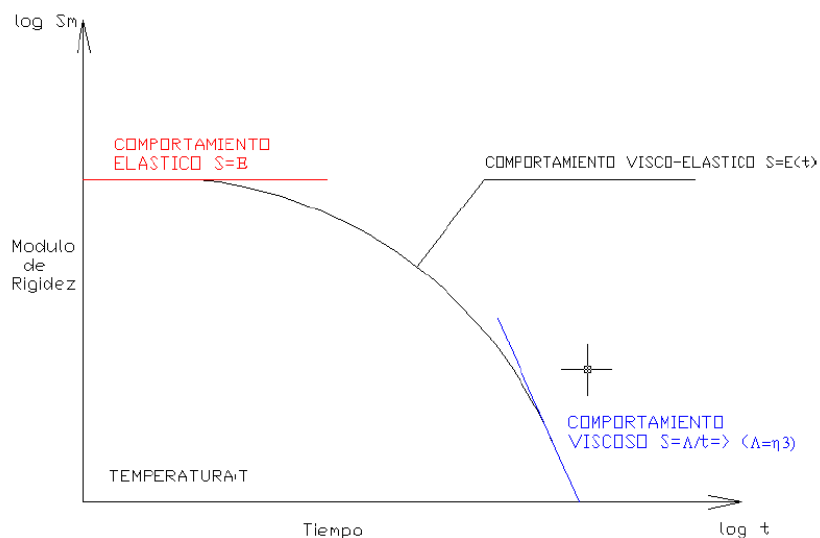
El Instituto del Asfalto recomienda que los valores de VMA para mezclas compactadas deban calcularse en función de la gravedad específica bulk del agregado, G_{sb} . La gravedad específica efectiva debe ser la base para calcular los vacíos de aire en la mezcla de asfalto compactado.

2.7. COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Como resultado de la naturaleza de la integración de los comportamientos de sus componentes, las mezclas asfálticas presentan un comportamiento visco-elasto - plástico por un lado, el agregado pétreo tiene un comportamiento elasto-plástico y por el otro, el mástico (asfalto más polvo mineral) tiene un comportamiento visco-elástico. Por tanto, las mezclas asfálticas poseen un comportamiento que se puede llamar visco-elástico-plástico.

Como se mencionó, la mezcla asfáltica está compuesta por agregados pétreos y asfalto; por tanto, el comportamiento de la mezcla asfáltica se ve afectado tanto por las propiedades individuales del agregado mineral y del asfalto, como por la interrelación de ambos componentes dentro del sistema.

Figura 2.2. Variación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Función del Tiempo y de la Aplicación de una Carga (curva experimental)



Fuente: Revista de la Universidad EAFIT, Colombia (2006).

7 UPC: Universidad Politécnica de Cataluña, España. El comportamiento de las mezclas asfálticas, se da gracias a la conjunción de todos los materiales y propiedades que cada tipo de mezcla contiene durante el diseño y en el funcionamiento bajo situaciones extremas.

Los materiales que componen las mezclas asfálticas, poseen propiedades dinámicas, dando lugar al módulo dinámico que caracteriza de forma mecánica a unas mezclas de otras. El comportamiento dinámico, se puede hallar a través del ensayo ASTM D 3497-Modulo Dinámico, donde se somete el espécimen a pulsos repetitivos en condiciones de compresión no confinada. Este se calcula como el cociente entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria elástica en cada ciclo de carga.

Según Julián Vidal⁶, la variación de estas propiedades se da principalmente por el cambio de temperatura, pues un aumento de esta, genera una disminución en el módulo resiliente. Por otro lado el efecto de la frecuencia de carga que se manifiesta a través del movimiento de los vehículos pesados sobre la estructura, produce módulos mayores a medida que la velocidad se incrementa.

En estudios realizados por el Dr. Little⁷, se demostró que en condiciones de carga y temperatura similares a las condiciones de servicio del pavimento, cualquier ensayo se puede considerar con un comportamiento visco elástico lineal. Esta linealidad permite la superposición de acciones y respuestas de las probetas ensayadas.

El comportamiento de esta mezcla se basa también, en el diseño estructural del pavimento (ya que estas sufren cargas a causa del tránsito).

Dicha teoría, está basada en la teoría inicial de Boussinesq (1885); la diferencia que existe entre ésta teoría y la de Burmister es que, toma en cuenta los estratos del pavimento y las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la masa de suelo, para calcular el estado de esfuerzos de ésta a cualquier profundidad. Esta teoría es utilizada para determinar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones producidas por las cargas de tránsito. Investigaciones, demostraron no solo que la variación de temperatura y la frecuencia de carga aplicada en las mezclas produce cambios en el comportamiento de éstas sino que también dependen de la energía de compactación y de la granulometría de las mismas. Como se dijo anteriormente, los materiales que componen las mezclas tienen que tener ciertas propiedades para que cuando se les aplique una carga en el agregado, no generen cortes en la estructura del pavimento produciendo las deformaciones permanentes.

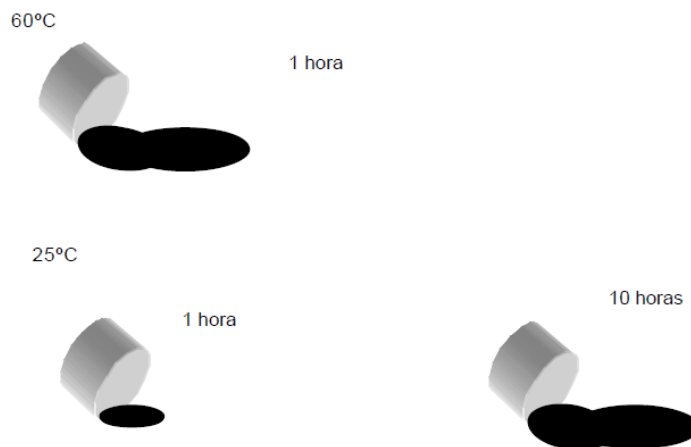
2.7.1. Comportamiento del cemento asfáltico

Con respecto al comportamiento de la mezcla asfáltica, las características más importantes del cemento asfáltico son: la susceptibilidad a la temperatura, la viscoelasticidad, y el envejecimiento.

De las tres anteriores, la que sobresale es la susceptibilidad a la temperatura, ya que sus propiedades mensurables dependen de ésta. Asimismo, el tiempo de aplicación de la carga también es importante, puesto que para una misma carga y un mismo asfalto, los diferentes tiempos de aplicación de la carga implicarán diferentes propiedades. Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura y la velocidad de carga. Sin una temperatura de ensayo y velocidad de carga especificada, el resultado del ensayo no puede ser interpretado como es debido.

La cantidad de asfalto que fluye podría ser la misma para una hora a 60 °C o 10 horas a 25 °C. En otras palabras, los efectos del tiempo y la temperatura están relacionados; el comportamiento a temperaturas altas en periodos de corto tiempo, es equivalente al que ocurre a temperaturas bajas y duraciones largas

Figura 2.3. Comportamiento del flujo del cemento asfáltico



Fuente: Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas

A altas temperaturas ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$), o bajo carga sostenida (por ejemplo, movimientos lentos, o estacionamiento de camiones), el cemento asfáltico actúa como un líquido viscoso, es decir, tiene un comportamiento plástico. La viscosidad es la característica física del material usada para describir la resistencia de un líquido a fluir, y también se emplea para expresar la diferencia entre las fuerzas resistentes y la velocidad relativa con que fluye una capa con respecto a otra en el cemento asfáltico caliente.

A bajas temperaturas ($<0\text{ }^{\circ}\text{C}$) o bajo cargas aplicadas rápidamente (por ejemplo, movimiento rápido de camiones), el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico; cuando es cargado se deforma y cuando es descargado regresa a su forma original.

Aunque el cemento asfáltico es un sólido elástico a bajas temperaturas, éste puede llegar a ser muy frágil y agrietarse cuando es cargado excesivamente. Por esta razón, el agrietamiento a bajas temperaturas, algunas veces ocurre durante el invierno.

En el pavimento en servicio, la temperatura que se presenta normalmente es intermedia respecto a los extremos mencionados previamente. En este rango de temperaturas, el asfalto presenta ambas características, las de un fluido viscoso y las de un sólido elástico. Debido a esta amplitud de comportamiento, el asfalto es un excelente material adhesivo en la pavimentación.

Después de que se enfría, el asfalto actúa como un pegamento que mantiene al agregado junto en una matriz sólida. En esta etapa, el comportamiento se conoce como viscoelástico; tiene ambas características, dependiendo de la temperatura y la velocidad de la carga.

Otra característica importante del asfalto es su composición química, pues debido a que está compuesto por moléculas orgánicas, reacciona con el oxígeno del medio ambiente produciéndose la oxidación, y cambia la estructura y composición de las moléculas del asfalto. Al reaccionar con el oxígeno, la estructura del asfalto se vuelve más dura y frágil, y da origen al término endurecimiento por oxidación, o endurecimiento por envejecimiento.

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para el mezclado y la compactación. Esta propiedad explica el por qué la oxidación es más crítica en cementos asfálticos utilizados en pavimentos que se construyen en lugares con climas cálidos y desérticos.

Otra forma de endurecimiento es la volatilización y el endurecimiento físico. La volatilización ocurre durante el mezclado y la construcción, cuando los componentes volátiles del asfalto tienden a evaporarse. El endurecimiento físico se presenta cuando el cemento asfáltico se expone a bajas temperaturas por periodos largos. Cuando la temperatura se estabiliza a un valor bajo constante, el cemento asfáltico continúa contrayéndose y endureciéndose. El endurecimiento físico es más notable a temperaturas menores a 0 °C.

2.7.2. Comportamiento del agregado mineral

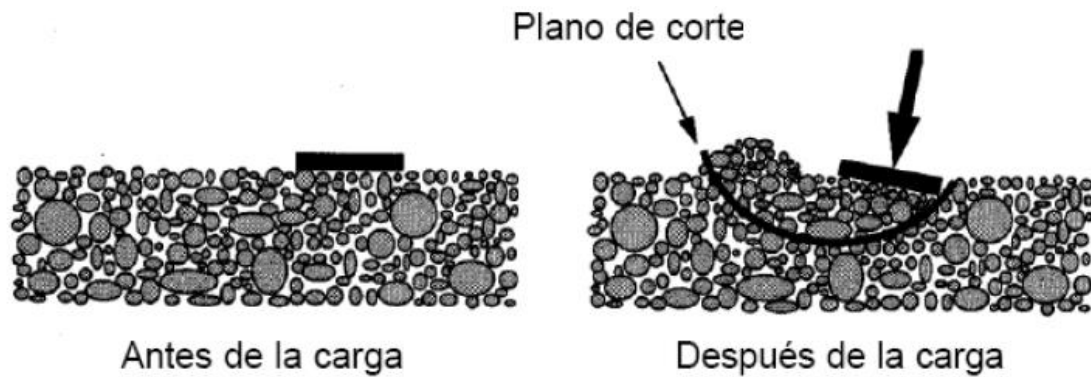
Los agregados minerales para elaborar la mezcla asfáltica pueden ser naturales, triturados o sintéticos. Los naturales se extraen de depósitos fluviales o glaciares, y utilizados sin ningún procesamiento para elaborar la mezcla asfáltica. Los agregados triturados se explotan en canteras, y reducidos a los tamaños deseados mediante trituración mecánica; mientras que el agregado sintético es un subproducto industrial, como la escoria de altos hornos.

Independientemente de la fuente; en los métodos de procesamiento o mineralogía, se espera que el agregado provea un fuerte esqueleto pétreo para resistir aplicaciones de carga repetidas.

Los agregados de textura rugosa, equidimensionales, producen mayor resistencia que los redondeados y de textura lisa. Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna que una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una masa más compacta de material. Las partículas redondeadas, en vez de trabarse tienden a deslizarse unas sobre otras. Cuando una masa de agregados es cargada, puede generarse dentro de la masa un plano

por el que las partículas se deslicen o cizallen unas respecto de las otras lo cual resulta en una deformación permanente de la masa. Es en este plano donde las tensiones de corte exceden a la resistencia al corte de la masa de agregados. La resistencia al corte del agregado es de especial importancia en la mezcla asfáltica.

Figura 2.4. Comportamiento del agregado Sometido a carga de corte



Fuente: Ing. Henry A. Vergara B. - "DISEÑO DIRECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

La resistencia al corte de los distintos agregados puede explicarse mediante la teoría de Mohr-Coulomb, la cual establece que la resistencia al corte de una mezcla de agregados depende de que tan unidas estén las partículas del agregado (cohesión); la tensión normal a que están sometidos los agregados; y la fricción interna.

La ecuación de Mohr-Coulomb para expresar la resistencia al corte de un material es:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

Dónde:

t = resistencia al corte de la mezcla de agregados

c = cohesión del agregado

σ = tensión normal a la cual está sujeta el agregado

ϕ = ángulo de fricción interna

Por otro lado, al someter una masa de agregado a tensiones de corte, las partículas deben fracturarse o arrastrarse unas sobre otras si se produce un desplazamiento. Este fenómeno se llama *dilatancia*, resultante de la expansión o incremento de volumen de la masa de agregados. Los materiales resistentes, con una mayor densificación y alto ángulo de fricción interna, tienden a dilatarse más que los materiales más débiles¹⁰.

Mientras que la tensión al corte es predominante en el agregado; en el cemento asfáltico lo es la temperatura, la visco elasticidad, y el envejecimiento ya que dentro del cemento asfáltico se encuentra el asfalto, cuyas características primordiales son: la viscosidad y la elasticidad.

Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura y la velocidad de carga. Sin una temperatura de ensayo y velocidad de carga especificada, el resultado del ensayo no puede ser interpretado como es debido.

2.8. FACTORES DE COMPOSICIÓN QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los factores más importantes que influyen en el comportamiento y que son concernientes a la composición de la mezcla, es decir, las variables de la mezcla son los siguientes:

- Naturaleza del cemento asfáltico
- Contenido de asfalto
- Porcentaje de vacíos
- Granulometría
- Forma y textura del agregado pétreo
- Contenido de finos

2.8.1. Naturaleza del cemento asfáltico

La susceptibilidad térmica del asfalto es un factor que influye notablemente en el comportamiento de la mezcla. Las mezclas asfálticas, elaboradas con asfaltos aplicación de la carga y, en consecuencia, tienen mayor vida a la fatiga.

Por otro lado, los asfaltos blandos hacen que las mezclas asfálticas sean más susceptibles a las variaciones de temperatura y velocidad de aplicación de la carga y, en consecuencia, más propensas a la deformación permanente.

2.8.2. Contenido de asfalto

El contenido de asfalto es el parámetro que más influye en el comportamiento de las mezclas asfálticas.

Para un tipo de mezcla asfáltica determinado, se tiene que: o Para valores de porcentajes de asfalto por debajo del óptimo, la resistencia mecánica y la resistencia a la fatiga aumentan con el incremento del contenido de asfalto o Para valores de porcentajes de asfalto por encima del óptimo, se presenta una disminución de las características mecánicas de la mezcla, incluso con aumento del riesgo a sufrir deformación permanente.

2.8.3. Porcentaje de vacíos

Las mezclas asfálticas con menor porcentaje de vacíos tienen una mayor vida a la fatiga, en el caso de la deformación permanente sucede lo contrario; para mezclas con porcentajes de vacíos menores al 3 %, la susceptibilidad a la deformación permanente es mayor.

2.8.4. Granulometría

Aunque la influencia del tamaño máximo del agregado no sea tan notable como el contenido de asfalto, la curva granulométrica puede influir a través de dos factores: el tamaño máximo del agregado y el tipo de curva, que puede ser continua o discontinua. Estos dos factores tienen influencia en el porcentaje de vacíos y, por ende, sobre la resistencia a la fatiga y la deformación permanente.

El porcentaje de vacíos del agregado mineral varía en función de la curva granulométrica. Para una curva más cercana a la línea de potencia 0,45 (curva de máxima densidad, llamada de Fuller), el porcentaje de vacíos es más bajo y la compacidad más fuerte.

2.8.5. Forma y textura del agregado

Son factores que también afectan la compacidad. Los agregados angulosos, con superficies rugosas, son frecuentemente más difíciles de compactar, lo que lleva a un menor volumen de vacíos para una misma energía de compactación, y en consecuencia un módulo de rigidez más bajo. Asfálticas constituidas por agregados redondeados y lisos presentan mayor porcentaje de vacíos y son fáciles de compactar; mientras que las mezclas con agregados triturados resultan con mayor porcentaje de vacíos.

Para una misma compacidad, parece no haber diferencias significativas en la duración de la vida a la fatiga entre mezclas con agregados redondeados y lisos, y mezclas con agregados triturados.

Para una misma energía de compactación, las mezclas asfálticas con agregados redondeados y lisos presentan un incremento en la compacidad y en la duración de la vida a la fatiga, a diferencia de las mezclas con agregados triturados.

2.8.6. Contenido de finos

La incorporación de finos en las curvas granulométricas reduce el porcentaje de vacíos, con lo que el módulo de rigidez de la mezcla asfáltica

2.9. COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

2.9.1. Tipología de los agregados

Los agregados minerales son caracterizados respecto al orden de procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, de esta manera se encuentra cuatro tipos de agregados. **Los agregados naturales**, que son utilizados después de su modificación de su distribución.

Agregados de trituración, aquellos provenientes de la pulverización de las rocas de las canteras.

Agregados artificiales, como la escoria que son materiales del subproducto de la industria.

Agregados marginales, que son materiales que no cumplen con alguna de las especificaciones para el diseño de mezclas asfálticas.

2.9.2. Características de los agregados

Para el buen funcionamiento de la carpeta asfáltica, se deben tener en cuenta ciertas características físicas, como la forma y angulosidad, un agregado mineral deseable es aquel que cuenta con la proporción de partículas equidimensionales. También se debe tener en cuenta características mecánicas, como lo son la resistencia al desgaste ya que es un factor importante en la evolución del pavimento después de su puesta en servicio y la resistencia en pulimento que es la resistencia en perder aspereza en su textura superficial, agregado áspero evitan el deslizamiento del pavimento. De igual forma, las características químicas como la adhesividad son importantes, una buena afinidad polar por el ligante impide el desplazamiento del ligante asfáltico de la superficie del agregado.

2.9.3. Clasificación de los agregados

Los agregados utilizados para pavimentación se clasifican según su tamaño en: agregado grueso, agregado fino y llenante mineral.

a) Agregado grueso:

Se considera agregado grueso a todo material que sea retenido por el tamiz N°4(4,75mm). Este agregado deberá ser limpio, resistente y durable, sin exceso de partículas planas, alargadas o desintegrables a demás estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan impedir la adhesión completa del asfalto.

b) Agregado fino:

Se considera material fino a todo aquel que logre pasar el tamiz N°4(4,75mm). Y es retenido en el tamiz N°200(0,074mm). En este rango se encuentran las arenas gruesas y finas las cuales son separadas por el tamiz N°10(2mm). Está constituido por arena de trituración o una mezcla con arena natural, los granos del agregado fino deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto.

c) Llenante mineral o filler

Su principal característica es que pasa el tamiz N°200(0,074mm). Siendo el polvo de roca más utilizado en las mezclas asfálticas realizadas en nuestra región, teniendo su origen durante el proceso de trituración dl material granular de mayor tamaño. Aporta un incremento a la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, incrementa la durabilidad de la capa de rodadura evitando la acción del desplazamiento que ejerce el agua al asfalto, debido a que reduce los poros superficiales evitando el acceso del agua al interior.

2.10. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

La mezcla asfáltica presenta un comportamiento mecánico complejo, debido a las características visco- elásticas proporcionadas por el asfalto, como consecuencia de lo anterior la respuesta de la mezcla asfáltica cuando es sometida a la aplicación de un esfuerzo es influenciada por la temperatura, el nivel de la carga y la duración de dicha carga.

Con el objetivo de caracterizar el desempeño de la mezcla se describe a continuación dos modelos basados en la experiencia de laboratorios para la predicción del comportamiento mecánico y dos ensayos realizados en laboratorios.

2.10.1. Rigidez

Se define como rigidez, la relación entre tensión y deformación a una temperatura y tiempo de carga dados, está en función de la granulometría del árido, rigidez del betún, grado de compactación, sensibilidad al agua y contenido de asfalto. La rigidez dinámica, ya que esta propiedad es importante para evaluar las propiedades mecánicas

de la mezcla, se ha constituido como un elemento fundamental en el diseño de pavimentos.

Debido a que los objetivos de la investigación no alcanzan a realizar los ensayos para el cálculo de la rigidez de las probetas, además, ensayo como el esfuerzo a tracción estos ensayos se aplica la carga de varias maneras, por ejemplo, cargas repetidas, cargas dinámicas y cargas constantes que hacen fluir las probetas.

2.10.2. Resistencia a la fatiga

Se entiende por resistencia a la fatiga la habilidad de la mezcla a flexionar repetidamente sin romperse.

Durante la vida en servicio del pavimento, pueden ocurrir dos tipos de falla en la estructura del firme, una falla funcional que hace que el vehículo no logre desplazarse de una manera segura ni cómoda y una falla estructural que está asociada con la pérdida de cohesión de algunas capas de pavimentos haciendo que este no soporte las cargas a las que está sometido. La falla estructural se presenta cuando ocurre fatiga, es decir, cuando el pavimento es sometido a las sollicitaciones cíclicas generadas por las ruedas de los automóviles, sufren una serie de deformaciones en las capas de mezclas bituminosas que se transforman en esfuerzos de tracción. La acumulación de estas tensiones tangenciales puede dar origen y propagación de micro- fisuras que con el tiempo se vuelven fisuras que se propagan a lo largo de las caras de los áridos y provoca la reducción de la rigidez del pavimento.

Estos fenómenos que se producen en el pavimento durante su funcionamiento son modelados mediante ensayos de fatiga en el laboratorio en donde se predice el esfuerzo admisible a tensión para cierto número de repeticiones de carga, dichos laboratorios han dado como resultado que la relación entre la deformación, producida por la sollicitación, y la vida en fatiga presentada por el número de sollicitaciones.

2.10.3. Deformación plástica

La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzo internos producidos por una o más fuerzas. Las deformaciones plásticas en capas de

rodadura son aquellos canales que se forman a lo largo de la trayectoria longitudinal de circulación de los vehículos, exactamente en las huellas por donde ruedan los neumáticos sobre el pavimento.

Las mezclas asfálticas no regresan a su forma original después de muchas repeticiones de carga, ya que el material experimenta cambios termodinámicos irreversibles al adquirir mayor energía potencial elástica. Se visualiza cuando al escoger una sección transversal de la superficie de la vía esta no va a ocupar su posición original. En una capa de concreto asfáltico, la deformación plástica representa la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes producida por la aplicación de cargas provenientes del mismo rodado de los vehículos sobre la superficie del pavimento, y es uno de los tipos de deterioro que más preocupa dentro del estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas. Espesores delgados de pavimento, reducción volumétrica del material, altas temperaturas, son unas de las causas que producen las deformaciones plásticas en los firmes.

2.11. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

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

- Suficiente asfalto para asegurar durabilidad.
- Suficiente estabilidad para satisfacer las demandas de tráfico sin distorsión o desplazamientos.
- Suficiente manejabilidad para permitir la colocación de la mezcla sin segregación.
- Los materiales propuestos a usarse satisfagan los requisitos de las especificaciones del proyecto.
- Las combinaciones de agregados satisfagan la granulometría requerida en las especificaciones.

- Las gravedades específicas de masa de todos los agregados usados y la gravedad específica del asfalto sean determinados para poderse usar en los análisis de densidad y vacíos.

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

2.11.1. Demanda de asfalto para la combinación de agregados

Puede determinarse por el ensayo CKE (equivalente centrífugo de kerosene) o estimarse con la formula empírica:

$$Pc = 0.035 a + 0.045 b + K c + F$$

Dónde:

Pc = Porcentaje de asfalto por peso de la mezcla total.

a = Porcentaje de agregado, mayor a 2.36 mm(Nº8).

b = Porcentaje de material entre 2.36 mm y 75µm (Nº8 y Nº 200).

c = Porcentaje de partículas menores a 75µm (Nº 200).

K = 0.15 si el porcentaje inferior a 75 µm está entre 11 y 15; 0.18 si su porcentaje está entre 6 y 10; 0.20 si es menor o igual a 5.

F = Varía entre 0 y 2 % de acuerdo a la absorción del agregado. La fórmula se basa en un peso específico promedio de 2.60 a 2.70. Si no se dispone información, se puede tomar un valor de 0.7 a 1.0, rango dentro del cual se encuentran la mayoría de los casos.

2.11.2. Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla

La cantidad de asfalto nuevo por adicionar en las mezclas recicladas es igual a la demanda total, menos el porcentaje de asfalto del pavimento asfáltico recuperado.

$$Pr = Pc - Pa * \frac{Pp}{100}$$

Dónde:

Pr = Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla reciclada.

Pc = Porcentaje de asfalto por peso de la mezcla.

Pa = Porcentaje de asfalto en la mezcla recuperada del pavimento.

Pp = Porcentaje en que interviene el pavimento asfáltico recuperado dentro de la mezcla reciclada.

Si se requiere expresar el porcentaje de asfalto como porcentaje con respecto al peso de los agregados:

$$Pr = Pc - Pa * \frac{Pp}{100}$$

2.11.3. Tanteos de diseño de la mezcla y selección de la fórmula de trabajo

Se hacen tanteos utilizando el método Marshall. El contenido de asfalto se puede ajustar cambiando la cantidad de asfalto nuevo, hasta llegar a una mezcla que cumpla con el criterio del procedimiento de diseño utilizado.

2.12. MÉTODO MARSHALL

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

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

2.12.1. Preparación de las muestras de ensayo

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final.

La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

1. El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
2. Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
3. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada biqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta

Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes; una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos y una probeta de 75 golpes recibe 150 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

2.12.2. Procedimiento del ensayo

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

2.12.3. Ensayos de estabilidad y fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- a) Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60 ° C (140 ° F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- b) La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- c) La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.
- d) La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

2.13. CRITERIOS DE DISEÑO NORMALIZADO

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

Tabla 2.2. Ensayos de laboratorio Normalizados para Agregados

Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano qué clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	EL objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%.
Equivalente de Arena	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de Partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
Gravedad específica y absorción del agregados gruesos y finos	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C - 127 ASTM C - 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un período largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Próctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

Fuente: The Asphalt Institute.

Tabla 2.3. Ensayos de laboratorio Normalizados para Asfaltos

Ensayo de laboratorio para ASFALTOS	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO 201. ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los Cementos Asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los Cementos Asfálticos
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en décimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicarán consistencias suaves.
Punto de Inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.
Ductilidad	AASHTO T 51 ASTM D 113	Provee de una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.
Punto de reblandecimiento	AASHTO T 53 ASTM D 36	La temperatura determinada como de Reblandecimiento, representa aquella a la cual un cemento asfáltico alcanzará un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.
Ensayo de flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. Este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Solubilidad en Tricloroetileno	AASHTO T 44 ASTM D 2042	Este ensayo indica la porción de constituyentes cementantes activos en el asfalto ensayado es decir se utiliza para medir la pureza del asfalto. En esta prueba las sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, se consideran impurezas.
Peso específico	AASHTO T 228 AASHTO T 85 AASHTO T 84	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son: <ul style="list-style-type: none"> • Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura – volumen. • Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. Se determina normalmente por el método del picnómetro.
Endurecimiento y envejecimiento	AASHTO T 51 ASTM D 113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente.

Fuente: The Asphalt Institute.

2.13.1. Requisitos del agregado pétreo

Tabla 2.4. Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.

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

Fuente: SCT, 2003.

Tabla 2.5. Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.

Malla		Tamaño				
Abertura mm	Designación	12.5 mm (1/2 ")	19 mm (3/4 ")	25 mm (1 ")	37,5 mm (1 1/2 ")	50 mm (2 ")
50	2"	---	---	---	---	---
37,5	1 1/2"	---	----	---	100	90-100
25	1"	---	----	100	90-100	76-90
19	3/4"	---	100	90-100	79-92	66-83
12,5	1/2"	100	90-100	76-89	64-81	53-74
9,5	3/8"	90-100	79-92	67-82	56-75	47-68
6,3	1/4"	76-89	66-81	56-71	47-65	39-59
4,75	No.4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	No.10	48-64	41-55	36-64	30-42	26-38
0,85	No.20	33-49	28-42	25-35	21-31	19-28
0,425	No.40	23-37	20-32	18-27	15-24	13-21
0,25	No.60	17-29	15-25	13-21	11-29	9-16
0,15	No.100	12-21	11-18	9-16	8-14	6-12
0,075	No.200	7-10	6-9	5-8	4-7	3-6

Fuente: SCT, 2003.

2.13.2 Requisitos del ligante asfáltico

Tabla 2.6. Requisitos de calidad para cemento asfáltico, clasificado por viscosidad dinámica a 60°C.

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento original				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa.s(P ¹)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s =1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad, %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento, °C	37-43	45-52	48-56	50-58
Del residuo de la prueba de la película delgada				
Pérdida por calentamiento, % máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa.s(P ¹), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25°C; %, mínimo	46	50	54	58

Fuente: SCT, 2005.

2.14. MATERIALES DE ESTUDIO

2.14.1. Laterita

La laterita es el suelo propio de las regiones cálidas, caracterizado por la pobreza en sílice y su elevada cantidad de hierro, aluminio y/u otros minerales. Se desarrolla por la meteorización intensa y de larga duración de la roca madre subyacente.

Las lateritas se forman a partir de la lixiviación de rocas madres que pueden ser sedimentarias, metamórficas; ígneas o proto-menas. Dicha lixiviación va dejando en el residuo los iones más insolubles que son predominantemente el hierro y aluminio. Una característica esencial para la formación de laterita es la repetición de las estaciones húmedas y secas.

2.14.1.1. Características de la laterita

Las características especiales de lateritas, que las diferencian de otras tierras son:

- Mientras más oscura sea la laterita, será más dura, pesado y resistente a la humedad.
- Se ha encontrado que algunas lateritas tienen una reacción puzolánica cuando son mezcladas con cal (la cual se explica por el alto contenido de arcilla), produciendo materiales de construcciones duras y durables (por ejemplo, bloques estabilizados).

En las regiones tropicales, las fuertes lluvias provocan la intemperización de las rocas ígneas o la lixiviación de los suelos arcillosos. Este continuo deslavado puede disolver y retirar algunos de los minerales, lo que da como resultado un suelo de color rojo y baja densidad. Estos suelos pueden parecer firmes y en ellos es posible realizar cortes de fuerte pendiente; sin embargo, casi siempre contienen una gran cantidad de agua. Cuando se utilizan como materiales de construcción, esos suelos pueden hacerse blandos, inestables y muy poco aprovechables.



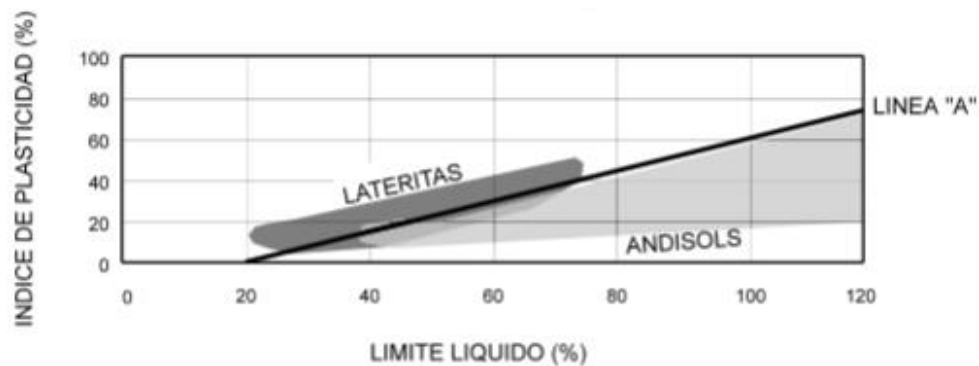
2.14.1.2. Valores típicos de propiedades de suelos lateríticos

Tabla 2.7. Propiedades de suelos lateríticos

PROPIEDAD	POCO REMOLDEADO	MUY REMOLDEADO	SIN SESQUIOXIDOS
Limite liquido (%)	57,8	69	51,3
Limite Plástico (%)	39,5	40,1	32,1
Indice de Plasticidad (%)	18,3	28,0	19,2
Gravedad Especifica	2,8	2,8	2,67
Densidad Máxima Proctor	13,3	13,0	13,8
Humedad Óptima Proctor (%)	35	34,5	29,5

Fuente: Geotecnia capítulo 5

Figura 2.5. Ubicación de Suelos Lateríticos en el cuadro de Plasticidad



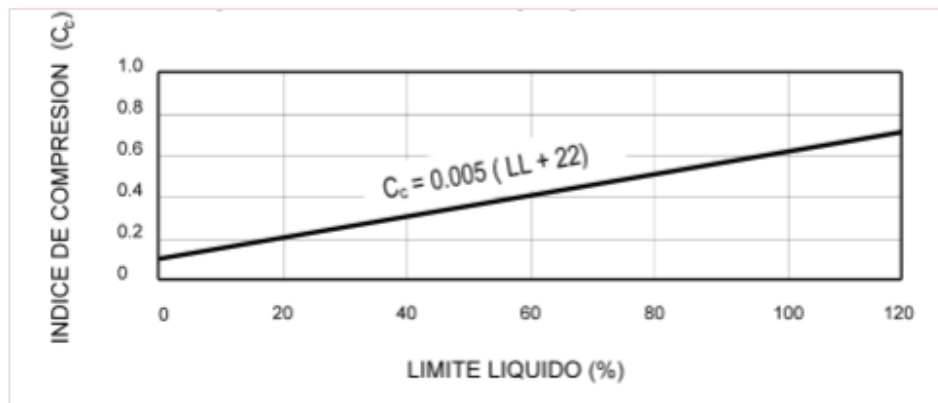
Fuente: Geotecnia capítulo 5

Tabla 2.8. Propiedades de Resistencia de Suelos Lateríticos

REFERENCIA	TIPO DE SUELO	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (RANGO)	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (PROMEDIO)	COHESION EN KN/m ² (RANGO)	COHESION EN KN/m ² (PROMEDIO)
Vargas (1977)	Laterita	22°-33°	28°	0-59	24


Fuente: Geotecnia capítulo 5

Figura 2.6. Índice de Compresión en Función del Limite Liquido para suelos lateríticos



Fuente: Geotecnia capítulo 5

Figura 2.7. Análisis químico de la laterita



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FISICA
Zona "El tejar" -- Tel: 4-6661225- Casilla 51 -- Tarija-Bolivia

REPORTE DE LABORATORIO	
ANALISIS SOLICITADO: ANÁLISIS DE CONTENIDO DE OXIDOS EN SUELO MEDIANTE XRF	
UNIDAD SOLICITANTE: MARCELA ALEJANDRA TAPIA ARMELLA TEL/CEL:	
DETALLE DE LA MUESTRA: Muestra de material Lateritico provincia O'Connor ruta Entre Rios – Sereré	
CÓDIGO DE MUESTRA:	M1:
SOFTWARE DE ANALISIS: OMNIAN (semicuantitativo)	
TECNICA DE MEDICION/EQUIPO DE MEDICION: XRF / EPSILON3-XL	
RESULTADOS:	
MUESTRA M1	
Componente	cantidad Unidad
MgO	1,301 %
CaO	0,611 %
Al ₂ O ₃	19,331 %
Fe ₂ O ₃	70,752 %
SiO ₂	1,846 %
MnO	0,502 %
SrO	0,303 %
ZnO	5,354 %

VoBo:




 Marco Taquichiri, M. Sc.
 DIRECTOR DEPARTAMENTO DE FISICA
 "2017, año de la producción científica del
 Departamento de Física"

Fuente: Elaboración Propia

2.14.2. Ripio

Árido resultante de la combinación de arena y material rodado bajo 1 ½" en proporciones definidas por el estudio de dosificación y que ha de emplearse en la construcción.

CAPÍTULO III

INVESTIGACIÓN SOBRE EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LATERITA Y RIPIO

3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Los materiales que se utilizarán para el presente proyecto son los siguientes:

3.1.1. Ripio

El ripio utilizado en la presente investigación es de procedencia del río Guadalquivir del departamento de Tarija.

Figura 3.1. Mapa hidrográfico de Tarija



Fuente.- Mapas hidrográfico

3.1.2. Laterita

Para el desarrollo de esta investigación, se obtuvo la muestra de material laterita del tramo Entre Ríos- Serere (Provincia O'Connor).

Figura 3.2. Ubicación del material laterita



Fuente: Mapas político de Tarija

3.1.3. El asfalto

- El asfalto utilizado en la elaboración de probetas en la presente investigación para la mezcla asfáltica convencional, fue cemento asfáltico STRATURA de Brasil C. A. 85 – 100.

Figura 3.3: Especificaciones del Betún

STRATURA
ASFALTOS

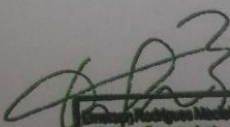
Certificado de Calidad de Origen

Certificado N.º: 38-0725/16-A	Data de emissão: 22/07/16
Cliente: CARTELLONE	
Produto: BETUPEN PLUS	Quantidade: 23.400 KG
Ordem de carregamento N.º:	Data de fabricação: 16/04/16
FATURA	Nº OP / IR 38-13967/16

Características do produto

ENSAIO	MÉTODO	UNID.	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADO	
				STRAT.	CLIENTE
Penetração (100g, 5s, 25°C)	AASHTO T 49	0,1mm	85 - 100	90	
Ponto de amolecimento	AASHTO T 53	°C	---	45,5	
Ponto de fulgor	AASHTO T 48	°C	232 min.	>232	
Ductilidade, 25°C, 5 cm/min.	AASHTO T 51	cm	100 min.	>100	
Visc. Brookfield, 135°C, Spindle 21	AASHTO T 316	cP	---	240	
Índice de penetração	---	---	---	-0,94	
Solubilidade em tricloroetileno	AASHTO T 44	%	99,0 min.	99,4	
Ensaio da mancha					
95% heptano + 5% xileno	AASHTO T 102	---	Negativo	Negativo	
90% heptano + 10% xileno			Negativo	Negativo	
85% heptano + 15% xileno			Negativo	Negativo	
80% heptano + 20% xileno			Negativo	Negativo	
RTFOT, 163°C, 85 min.					
Varição em massa	AASHTO T 240	% massa	1,0 máx.	-0,114	
% de penetração original	AASHTO T 49	%	50 min.	58	
Ductilidade, 25°C, 5 cm/min.	AASHTO T 51	%	75 min.	>75	

RESPONSÁVEL QUÍMICO: Emerson Rodrigues Meinel - CRQ 4º REG. SP. - 04241037



Emerson Rodrigues Meinel
 Químico Registrado
 CRQ 4º REG. SP. nº 04241037
 Stratura Asfaltos S/A

Responsável:

STRATURA ASFALTOS S.A.

Estado de São Paulo
 Av. Paulista 1704, 7º andar, São Paulo
 CEP 01310-200 São Paulo SP
 Tel: (11) 3513-4272 Fax: (11) 3513-4322

Centro de Engenharia de Engenharia
 Rua Professor Senechal de Moraes, 241, São
 CEP 13140-500 Paulínia SP
 Tel: (16) 3364-5405 Fax: (16) 3364-7005
 www.stratura.com.br

Estrutura de São Paulo
 Av. Paulista 1704, 7º andar, São Paulo
 CEP 01310-200 São Paulo SP
 Telefone: 0800 751-2084 Fax: (11) 3513-4242

Fuente: Elaboración Propia

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.2.1 Granulometría de agregados ASTM C136

a) Objetivo

Determinar la distribución de los tamaños de las partículas de agregado fino y grueso mayores a 0,075mm. Mediante un proceso de tamizado.

b) Equipos y materiales:

- Balanza eléctrica: De 0.01 gr. De precisión para muestras de hasta 200gr.
- Juego de Tamices: Con aberturas en cada tamiz según la siguiente tabla

Tabla 3.1. Serie de Tamices (Tamices utilizados en el ensayo)

Agregado Grueso		Agregado Fino	
mm	ASTM	mm	ASTM
63 mm.	2 ½"	*2.36 mm.	Nº 8
50 mm.	2"	*1.18 mm.	Nº 16
37.5 mm.	1 ½"	*0.60 mm.	Nº 30
*25 mm.	1"	*0.30 mm.	Nº 50
*19 mm.	¾"	*0.15 mm.	Nº 100
*12.5 mm.	½"	0.075 mm.	Nº 200
*9.5 mm.	3/8"		
*4.75 mm.	Nº 4		

Fuente: Manual de Carretera V4C de Administración Boliviana de Caminos

c) Procedimiento

- Antes de realizar el ensayo se debe de eliminar todo tipo de impurezas (material orgánico) y toda partícula fina menor a 0.075 mm. Para ello se procederá a lavar bien la muestra y secarla muy bien. (Se recomienda dejarlo secar 24 Hrs. A temperatura ambiente o secarlo en un horno.)
- Se realiza el cuarteo del material para determinar una cantidad de muestra apropiada según la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Cantidad mínima de muestra (Utilizado)

Tamaño máximo de las partículas	Tamiz N°	Masa de muestra mínima
63 mm.	2 1/2"	35 kg.
50 mm.	2"	20 kg.
37.5 mm.	1 1/2"	15kg.
25 mm.	1"	10 kg.
19 mm.	3/4"	5 kg.
*12.5 mm.	1/2"	2kg.
**9.5 mm.	3/8"	1 kg.
4.75 mm. o menos	N° 4	0.3 y/o 0.5 kg.

Fuente: Manual de Carretera V4C de Administración Boliviana de Caminos

- Se agita todo el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado por lo general es de 15 minutos.
- Se quita la tapa y se separa los tamices, vaciando las fracciones de muestra que quedaron retenidos en cada una uno de ellos, incluyendo en la base.

Figura 3.4. Cuarteo del material



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5. Juego de Tamices



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6. Pesando el material



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculo y resultado

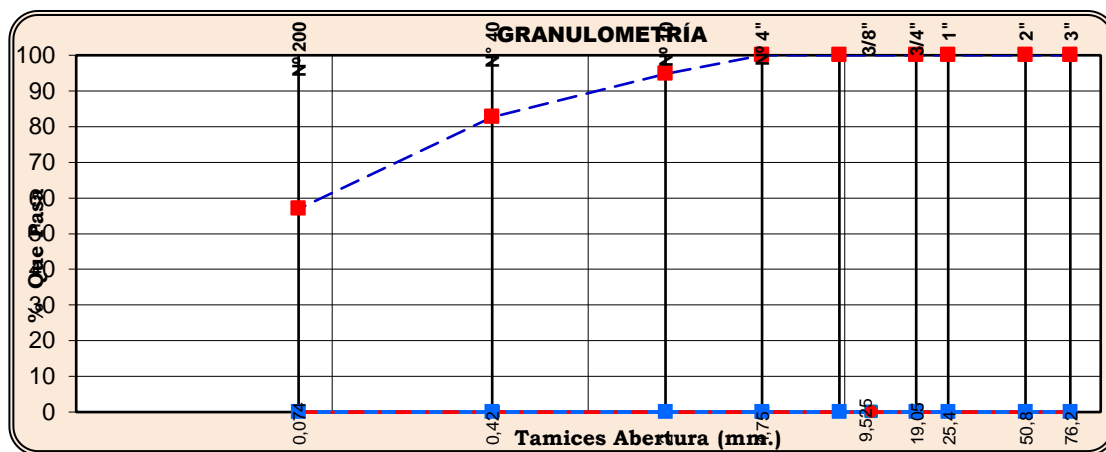
- Sume y registre todas las fracciones retenidas de todos los tamices, esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en más de 3% para agregados finos y de 0.5 % para los áridos gruesos
- Si esta especificación no se cumple se rechaza el ensayo y se realiza otro con una muestra gemela.
- Calcular la masa retenida acumulada en cada tamiz.
- Calcule el porcentaje retenido en cada tamiz.
- Calcular el porcentaje que pasa cada tamiz haciendo la diferencia de 100 entre el % retenido de cada tamiz
- Graficar la curva granulométrica en un sistema de coordenadas ortogonales cuya abscisa en escala logarítmica indique las aberturas nominales de los tamices y en las ordenadas a escala lineal los valores.

Tabla 3.3. Granulometría del material laterítico AASHTO T 27

Peso total seco (grs.)		<u>700,0</u> Muestra pasa tamiz N° 4				
Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido	% Que	Abertura
Nº	Tamiz (grs.)	Acumulado (grs.)	Tamiz	Acumulado	Pasa	Mm.
3"	0	0,0	0,0	0,0	100,0	76,20
2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	50,80
1"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	25,40
3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	19,05
3/8"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	9,525
4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	4,800
10	36,6	36,6	5,2	5,2	94,8	2,000
40	84,7	121,3	12,1	17,3	82,7	0,420
200	179,7	301,0	25,7	43,0	57,0	0,074

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.1. Curva granulométrica de la laterita

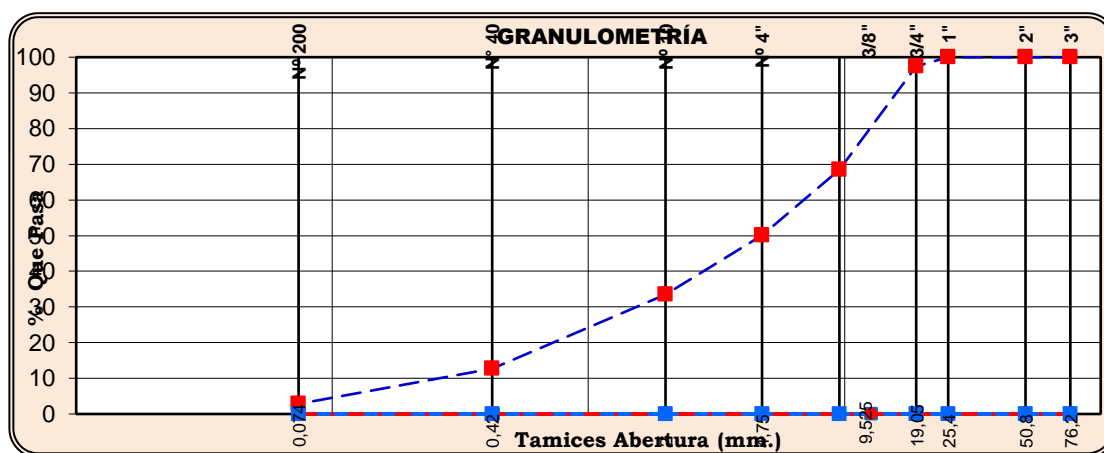


Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Granulometría AASHTO T- 27 (ripio)

Peso total seco (grs.)			6825,0				Muestra pasa tamiz N° 4	
Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido	% Que	Abertura		
N°	Tamiz (grs.)	Acumulado (grs.)	Tamiz	Acumulado	Pasa	Mm.		
3"	0	0,0	0,0	0,0	100,0	76,20		
2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	50,80		
1"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	25,40		
3/4"	171,0	171,0	2,5	2,5	97,5	19,05		
3/8"	1979,0	2150,0	29,0	31,5	68,5	9,525		
4	1260,0	3410,0	18,5	50,0	50,0	4,800		
10	164,8	164,8	33,0	66,5	33,5	2,000		
40	207,7	372,5	41,5	87,2	12,8	0,420		
200	99,7	472,2	19,9	97,2	2,8	0,074		

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.2. Curva Granulométrica del ripio

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO 1

3.2.2. Límites de Atterberg

a) Objetivos.

Sirve para la determinación de los límites de plasticidad que presentan los suelos a consecuencia de los efectos que tiene la humedad en los mismos.

b) Equipo y materiales:

- Tamiz N°40
- Horno secador 105 a 110°C
- Balanza de precisión 0,01gr
- Platos u otros recipientes
- **Limite líquido**
 - Equipo casa grande
 - Ranurador
 - Espátula
 - 5 Taras

Limite plástico

- 3 taras
- Base de vidrio

c) Procedimiento

- **LIMITE LÍQUIDO**
 - Se debe extraer una muestra de suelo aproximadamente unos 500 gramos que pasa el tamiz 0,425 mm (N° 40). Colocar la muestra en el plato; agregar agua y mezclar completamente mediante la espátula.
 - Colocar el aparato de límite líquido sobre una base firme, en la taza del equipo colocar una porción de la muestra acondicionada utilizando una espátula; la masa de suelo deberá colocarse centrándola en el punto de apoyo de la taza con la base. Moldear la masa de suelo con la espátula hasta obtener

la forma indicada en la figura, evitando incorporar burbujas de aire en la mezcla.

- Enrasar y nivelar a 10mm en el punto de máximo espesor. Reincorporar el material excedente al plato de evaporación. Dividir la pasta de suelo, pasando el acanalador cuidadosamente a lo largo del diámetro que pasa por el eje de simetría de la taza, de modo que se forme una ranura clara y bien delineada de las dimensiones especificadas. Pasar el acanalador, manteniéndolo perpendicular a la superficie interior de la taza.
- Girar la manivela levantando y dejando caer la taza con una frecuencia de dos golpes por segundo, hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco a lo largo de un tramo de 10 mm. registrar el número de golpes obtenido, retirar aproximadamente 10 g del material que se junta en el fondo del surco; colocarle en una cápsula de secado y determinar su humedad.
- Se debe realizar al menos 5 veces los mismos pasos a diferentes humedades se recomienda que debe estar entre los 15 a 40 golpes, para luego construir una gráfico semilogarítmico, con la humedad (w) como ordenada en escala aritmética y el número de golpes (N) como abscisa en escala logarítmica.
- El Límite Líquido (LL) del suelo será la humedad correspondiente a la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes, aproximando a un decimal.
- **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM D4318 AASHTO T90).**
- Par determinar el límite plástico se debe extraer una muestra representativa de un tamaño que asegure una masa mínima de ensaye de 500g de material bajo tamiz 0,425mm (N° 40).
- Agregar agua a la muestra en un plato y mezclar uniformemente hasta obtener una masa pastosa, la cual se pueda amasar hasta que no se pegue en la mano, con la mano encima de un vidrio proceder a realizar rollitos de aproximadamente 3 mm diámetro, al llegar a este diámetro aproximado el

rollito debe empezar a fisurarse, entonces se debe cortar en la parte fisurada en trozos del orden de 0,5 a 1 cm de largo y no pueda ser re amasado ni reconstituido. Realizar entre 3 a 5 pruebas, extrayendo de cada prueba unas 3 muestras de rollitos para pesarlos y llevarlos al horno para el secado correspondiente y determinar la humedad y con ello el porcentaje de humedad el promedio de los porcentajes de humedad si no se descarta ninguno será el Límite Plástico.

- El índice de plasticidad es la diferencia del porcentaje de humedad del Límite Líquido y el Límite Plástico del mismo material analizado.

Figura 3.7. Realizando límite líquido de la laterita



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8. Realizando límite plástico de la laterita



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculo y resultado:

- El límite líquido de un suelo es determinado por medio de la copa de Casagrande de (Designación de prueba D-4318 de la ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 1/2 in (12.7 mm) mediante 25 golpes.
- El límite plástico se define como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 1/8 pulg (3.18mm) de diámetro (designación de prueba D-4318 de la ASTM)

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo se define como el índice de plasticidad (PI)

$$IP = LL - PL$$

Tabla 3.5. Resultados de los límites de Atterberg del suelo de canto rodado (ripio)

Límite Líquido	13,7		Límite Plástico		N.P	Índice de plasticidad	0,0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
								AASHTO	A - 1a (0)
Coficiente de uniformidad	24,67	D60=	6,59	D30=	1,74	D10=	0,27	Unificada	Grava bien graduada con arena GW

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6. Resultados de los límites de Atterberg de la laterita

Limite Liquido	22,7		Límite Plástico		17,1	Índice de plasticidad	5,7	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
								AASHTO	A - 4 (4)
Coficiente de uniformidad		D60=	0,10	D30=		D10=		Unificada	Arcilla limosa arenosa CL-ML

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO

3.2.3. Determinación del valor equivalente de arena de suelos y agregados finos norma ASTM d 2419

a) Objetivo

El equivalente de arena es una medida de la cantidad de contaminación de limo o arcilla en el agregado fino menor de 4.75 mm.

b) Equipo y materiales:

- Tubo irrigado, de acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña.
- Sistema de Sifón, se compone de un botellón de 3.8 lt de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.
- Probeta graduada. Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
- Tubo flexible. De caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
- Pisón de metal.
- Recipiente metálico.
- Cronómetro o reloj. Lecturas en minutos y segundos
- Embudo. De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
- Tamiz N°4
- Recipiente para mezcla
- Horno. Capaz de mantener temperaturas de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

c) Procedimiento

- Llenamos la probeta hasta 10 cm con solución tipo (Cloruro de calcio, glicerina y agua destilada).
- Vertemos contenido de muestra de arena.
- Golpeamos parte inferior para desalojar burbujas y humedecer muestra.
- Dejamos reposar 10 minutos.
- Tapamos la probeta y agitar 90 ciclos (ida y vuelta 20 cm) durante 30 segundos.
- Lavamos el tapón y las paredes interiores de la probeta con disolución lavadora.
- Introducimos tubo irrigador al fondo de la muestra y ascendemos poco a poco (permite el ascenso del material fino atrapado).
- Dejar reposar durante 20 minutos.
- Hacemos lecturas h_1 y h_2 para las dos muestras

Figura 3.9. Llenado de la probeta con solución y muestras en reposo



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculo y resultado:

Calcule el equivalente de arena con aproximación a 0.1% como sigue:

$$\% \text{ de arena} = \frac{\text{lectura de arena}}{\text{lectura de arcilla}} * 100$$

Tabla 3.7. Resultado de Porcentaje de arena (100% ripio)

ENSAYO	LECTURAS		PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN	
	1	2			
Ensayo n°	1	2			
Lectura nivel superior	6,5	7,1	6,8		
Lectura nivel inferior	3,4	3,8	3,6		
% de arena	52,31	53,52	52,9	>	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8. Resultado de Porcentaje de arena (100% laterita)

ENSAYO	LECTURAS		PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN	
	1	2			
Ensayo n°	1	2			
Lectura nivel superior	12,6	12,5	12,55		
Lectura nivel inferior	1,1	1,2	1,15		
% de arena	8,73	9,60	9,2	>	45

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.2.4. Gravedad específica y absorción en agregados finos ASTM c-128

a) Objetivo

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

b) Equipo y material

- Balanza con capacidad de 1kg. y sensibilidad de 0,1 gr.
- Matraz de 500 ml de capacidad (se usa el mismo que se requiere para las pruebas de suelos).
- Molde cónico y una varilla.
- Muestra se selecciona una muestra de 1kg. Que puede ser obtenida por cuarteo, luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

c) Procedimiento:

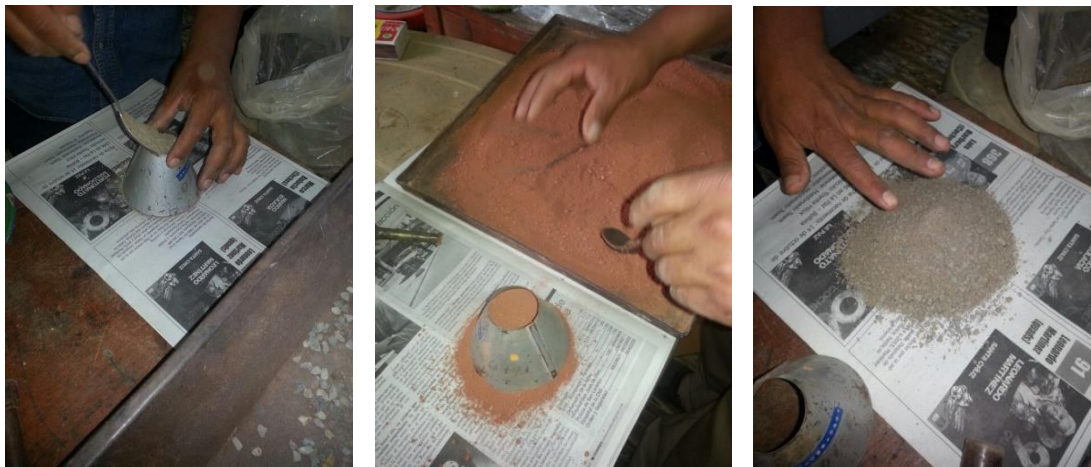
- Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme.
- Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero en el molde cónico y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía alguna humedad en la superficie, conservara la forma cónica y si por el contrario la humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se levante el cono.
- Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocar en el cono.
- Se coloca 100grs. De la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope, con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se coloca en un baño a temperatura constante de 20°C. Luego se obtiene el peso del matraz lleno.

- Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante (105°C) y se pesa.

Figura 3.10. Secado del material laterita



Figura 3.11. Usando el molde cónico



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12. Pesando la muestra - agua y matraz



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13. Pesando la muestra



Fuente: Elaboración propia

d) cálculos y resultados

Tabla 3.9. Resultado del peso específico del agregado fino (ripió)

DESCRIPCIÓN	Unidad	100 % Ripio	100 % Ripio	PROMEDIO	
Peso Frasco Seco Vacío (u)	grs.	235,3	231,7		
Peso Frasco+Muestra(f)	grs.	547,8	544,3	50	50
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x=f-u)	grs.	500	500	0,5	0,5
Peso Muestra Seca (a)	grs.	489,2	489,8	2,718	2,716
Peso Agua (t)	grs.	572,6	573,2		
Peso Muestra + Agua (b)	grs.	885,1	885,8		
Peso Espec. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$)	grs./cm ³	2,609	2,614	2,611	
P. E. A. Saturado Sup. Seco($x/((x+t)-b)$)	grs./cm ³	2,667	2,668	2,667	2,717
Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-b$)	grs./cm ³	2,769	2,764	2,766	
% de Absorción ($(x-a)/a*100$)	%	2,208	2,082	2,145	2,145

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Resultado del peso específico del agregado fino (laterita)

DESCRIPCIÓN	Unidad	100 % Laterita	100 % Laterita	PROMEDIO
Peso Frasco Seco Vacío (u)	grs.	235,3	231,7	
Peso Frasco+Muestra(f)	grs.	541,8	538,1	
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x=f-u)	grs.	500	500	
Peso Muestra Seca (a)	grs.	484,7	485,1	
Peso Agua (t)	grs.	572,6	573,2	
Peso Muestra + Agua (b)	grs.	879,1	879,6	
Peso Espec. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$)	grs./cm ³	2,505	2,506	
P. E. A. Saturado Sup. Seco($x/((x+t)-b)$)	grs./cm ³	2,584	2,583	2,650
Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-b$)	grs./cm ³	2,720	2,715	
% de Absorción ($(x-a)/a$)*100	%	3,157	3,072	3,114

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.2.5. Determinación gravedad específica y absorción de agua en áridos gruesos

a) Objetivo:

Determinar la gravedad específica y la absorción de agua en áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

b) Equipo y materiales:

- Balanza

- Horno
- Canastillo “Porta Muestra, de alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo de la balanza.
- Recipientes

c) Procedimiento:

- Tamaño de la muestra a ensayar, es la cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la tabla, en función del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 3.11. Cantidad mínima de muestra a utilizar según el tamaño máximo nominal

Tamaño máximo nominal		Cantidad mínima de muestra
mm	ASTM	kg
12.5 o menos	1/2"	2
19	3/4"	3
25	1"	4
37.5	1(1/2)"	5
50	2"	8
63	2(1/2)"	12

Fuente: ASTM127-01 “Volume04.02ConcreteandAggregates”

- Más o menos 5 kg lavados y retenidos en la malla N°4 (4.75 mm), se secan a peso constante.
- La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua
- Los agregados se sacan del agua
- Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca
- La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el sumergido en agua
- La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante

Figura 3.14. Secando la Muestra



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15. Peso de muestra en agua



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculos y resultados

$$\text{Gravedad específica seca aparente (Gsa)} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Gravedad específica seca Bulk (Gsb)} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Gravedad específica saturada superficialmente seca (Gsssb)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Dónde:

A: masa en el aire del agregado seco al horno (g)

B: masa en el aire del agregado saturado superficialmente seco (g)

C: masa del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua (g)

Tabla 3.12. Resultado de gravedades específicas y absorción de agregado grueso (ripió)

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grava 3/4	Grava 3/4	PROMEDIO	
		- 3/8"	- 3/8"		
Peso Muestra Saturada de Superf. Seca (e)	grs.	3634	2359	50	50
Peso Material Seco (f)	grs.	3586	2329	0,5	0,5
Peso Muestra + Cesto suspendido en Agua	grs.	2242	1456		
Peso del Cesto suspendido en Agua	grs.	0	0	2,639	2,640
Peso Muestra suspendida Agua (g)	grs.	2242	1456		
Peso Específico del Agregado Seco (f / (e-g))	grs./cm3	2,576	2,579	2,578	
P.E.A. Saturado de Superficie Seca (e/(e-g))	grs./cm3	2,611	2,612	2,612	2,640
Peso Específico Aparente (f/ (f-g))	grs./cm3	2,668	2,668	2,668	
% de Absorción ((e-f)/f)*100	%	1,339	1,288	1,313	1,313

Fuente: Elaboración Propia

Ver planillas en ANEXO I

3.2.6. Determinación del peso unitario de los agregados (grava y gravilla) (aashto t19 astm c29)

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

- Calibración de los moldes

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

- Preparación de la muestra

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

- Calculo

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando del peso del molde más muestra compactada el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se debe multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

b) PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Peso unitario suelto:

a) El molde se llena en exceso por medio de una pala y el agregado se va descargando desde una altura no mayor de 5 cm por encima de la parte superior del molde.

Figura 3.16. Llenado del molde con agregado



Fuente: Elaboración propia

- b) La superficie del agregado se nivela con una regla metálica de modo que los pequeños salientes de los pedazos mayores del agregado grueso compensen los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del molde.
- c) Se pesa el molde junto con el agregado.

Figura 3.17. Enrazado con la regla metálica



Fuente: Elaboración propia

Peso unitario Compactado:

- a) El molde se llena en tres capas aproximadamente iguales y cada capa se golpea 25 veces con la barra metálica, distribuyendo uniformemente los golpes sobre la superficie. Después que cada capa ha sido golpeada, el agregado sobrante debe quitarse nivelando con la barra apoyada en el borde del molde.

Figura 3.18. Varillado con la barra metálica



Fuente: Elaboración propia

b) Al golpear la primera capa no debe permitirse que la barra metálica golpee fuertemente el fondo del molde. Se debe emplearse la fuerza necesaria para que la barra de apisonar penetre la última capa del agregado colocado en el molde, al golpear la segunda y tercera capa.

c) se pesa el molde junto con el agregado.

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Tabla 3.13. Resumen de resultados de peso unitario de la grava

PRUEBA #	Unidad	1	2	3
Peso Muestra + Recipiente	grs.	16308	16204	16255
Peso del Recipiente	grs.	0	0	0
Peso del Agregado Seco	grs.	16308	16204	16255
Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880
PESO UNITARIO SECO	grs./cm ³	1,651	1,640	1,645
PROMEDIO	grs./cm ³	1,645		
PESO UNITARIO	grs./cm ³	1,632		

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.2.7. Determinación del peso unitario de los agregado fino (AASHTO T19 ASTM c29)

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

- Calibración de los moldes

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

- Preparación de la muestra

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

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Peso unitario suelto:

- a) El molde se llena en exceso por medio de una pala y el agregado se va descargando desde una altura no mayor de 5 cm por encima de la parte superior del molde.
- b) La superficie del agregado se nivela con una regla metálica de modo que los pequeños salientes de los pedazos mayores del agregado grueso compensen los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del molde.
- c) Se pesa el molde junto con el agregado.

Peso unitario Compactado:

- a) El molde se llena en tres capas aproximadamente iguales y cada capa se golpea 25 veces con la barra metálica, distribuyendo uniformemente los golpes sobre la superficie. Después que cada capa ha sido golpeada, el agregado sobrante debe quitarse nivelando con la barra apoyada en el borde del molde
- b) Al golpear la primera capa no debe permitirse que la barra metálica golpee fuertemente el fondo del molde. Se debe emplearse la fuerza necesaria para que la barra de apisonar penetre la última capa del agregado colocado en el molde, al golpear la segunda y tercera capa.
- c) se pesa el molde junto con el agregado

Figura 3.19. Varillando el material

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Tabla 3.14. Resumen de resultados de peso unitario de la Arena

PRUEBA #	Unidad	1	2	3
Peso Muestra + Recipiente	grs.	5387	5384	5380
Peso del Recipiente	grs.	0	0	0
Peso del Agregado Seco	grs.	5387	5384	5380
Volumen Recipiente	cm ³	2935	2935	2935
PESO UNITARIO SECO	grs./cm ³	1,835	1,834	1,833
PROMEDIO	grs./cm ³	1,834		
PESO UNITARIO	grs./cm ³	1,757		

Fuente: Elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

3.3 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ASFALTICOS

3.3.1 Penetración ASTM D5, AASHTO T49

a) Objetivo

Determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal. Esta se hace a 25 °C, calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100 g y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro.

b) Equipo y material

- Penetrómetro, Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0,1 mm. El peso del vástago será de $47,5 \pm 0,05$ gr. El peso total del vástago con aguja será de $50 \pm 0,05$ gr. para cargas totales de 100 y 200 gr. Dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensayo.
- Aguja de Penetración, La aguja es de acero inoxidable templado y duro, debe tener aproximadamente 50 mm. De largo y diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.
- Capsulas
- Baño de agua
- Transportador de capsula
- Aparato medidor de tiempo
- Termómetros

c) Procedimiento

- Calentar el material en un recipiente, agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas.
- Se llena el molde para la probeta calentado a una temperatura semejante a la

del material, hasta una altura que sea superior al menos en 10 mm a la penetración supuesta.

- Después de llenar los moldes, protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y dejar enfriar al aire a una temperatura por un período entre 1 y 1.5 horas.
- Sumergir el recipiente en el baño de agua a la temperatura controlada de 25°C, durante un periodo de 30 minutos.
- Comprobar que el vástago soporte de la aguja este perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamientos
- Fijar la aguja firmemente en su soporte. Se coloca el peso suplementario de 50g sobre el vástago, para obtener la masa móvil total de 100 ± 0.1 g.
- Aproximar la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sí que penetre.
- Poner en cero el penetrómetro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado.
- Se lee ya nota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que hay a penetrado la aguja en la muestra.
- Se puede realizar más perforaciones en la muestra para lo cual se la vuelva a introducir al baño de agua durante un periodo de 15 minutos.
- Al momento de repetir el ensayo se debe tener en cuenta que se las debe realizar tanto a 10mm de la perforación inicial y del borde.

Figura 3.20. Baño maría de agua a la temperatura controlada de 25°C, durante un periodo de 30 minutos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21. Lectura de penetración



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculo y resultados

Tabla 3.15. Resultado de Ensayo de Penetración 85-100 Convencional

Ensayo de penetración			
N° de muestra	N° penetración	Lectura	Unidades
1	1	93	d mm
	2	95	d mm
	3	91	d mm
	Promedio	93	d mm
2	1	91	d mm
	2	91	d mm
	3	92	d mm
	Promedio	91,33	d mm
	PENETRACIÓN	92,16	d mm

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Ensayo de viscosidad Saybolt Furolb ASTM D244

a) Objetivo.

- Este método de ensayo permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo. Empleando una temperatura de 135°C para los cementos asfálticos, de 25 y 50°C para las emulsiones asfálticas y de 50 y 60°C para los asfaltos rebajados, haciendo a otras

temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de los materiales asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

- La prueba consiste en determinar el tiempo que tarda en pasar 60 cm^3 del material a probar a través de un orificio Furol, instalado en un tubo de Viscosidad Saybolt, bajo condiciones de carga y temperatura preestablecida.

b) Equipo y materiales

- Viscosímetro Syabot Furolb
- Recipiente
- Aciete
- Matraz 60 cm^3

c) Procesamiento

- Se colocan 450 g de la muestra de cemento asfáltico en un recipiente, para derretirla se calienta hasta alcanzar una temperatura superior en $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a la prueba, agitándola de vez en cuando, excepto durante los últimos 30°C de calentamiento, cuando el agitado será continuo. El tiempo de calentamiento no será mayor de 2 horas y la muestra solamente se debe.
- Se llena el baño del viscosímetro con el aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectuara la prueba o con agua si se trata de un asfalto rebajado.
- Se limpia el tubo del equipo y se seca perfectamente antes de utilizarlo. Para facilitar esta limpieza, después de cada prueba el tubo de viscosidad se llena con aceite, se vacía y enseguida se limpia.
- Una vez limpiado el tubo de viscosidad, se le inserta el tapón de corcho en su parte inferior, de manera que penetre de 6 a 9 mm, cuidando que ajuste herméticamente para evitar pérdidas de la muestra de prueba.

- Se ajusta el baño del viscosímetro a una temperatura ligeramente inferior a la seleccionada para la prueba, se entibian y secan el tubo de viscosidad y el embudo con la malla N° 20 cuando se trate de cemento asfáltico o N° 100 para asfalto rebajado. A continuación se vierte en el tubo de viscosidad la muestra preparada, filtrándola a través de la malla, hasta que se derrame en la cazoleta; se coloca la tapa y se inserta el termómetro a través del orificio central de la misma.
- Se ajusta la muestra continuamente con el termómetro, dándole a este un movimiento circular y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el tubo de viscosidad para no presionar el asfalto a través del orificio de la boquilla se ajusta la temperatura del baño hasta que la muestra alcance la temperatura de prueba y se establezca el equilibrio térmico.
- Cuando la temperatura de la muestra permanezca constante durante 1 minuto de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0,3 °C respecto a la temperatura de prueba, se retira la tapa para verificar que la muestra dentro de la cazoleta no llegue al nivel de derrame y se vuelve a colocar la tapa.
- Inmediatamente después se coloca el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que la muestra alcance la marca de aforo de 60 cm³ del matraz y se registra el tiempo medido. El tiempo transcurrido desde que se inicia el llenado del tubo de viscosidad hasta que empiece el llenado del matraz.

Figura 3.22. Registro de tiempo en el Viscosímetro



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculo y resultados

Viscosidad Saybolt 135°C de 60 cm³ de muestra de asfalto

Tabla 3.16. Resultado de Viscosidad Saybolt asfalto convencional

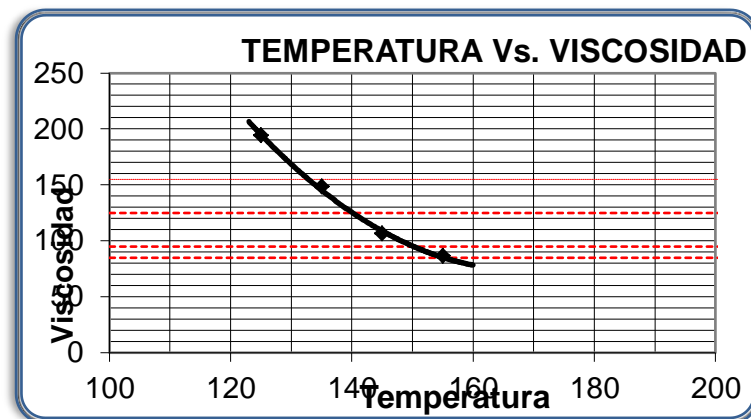
Ensayos	Tiempo (seg)
1	157
2	155
Promedio	156

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17. Viscosidad a diferente temperatura asfalto convencional

Punto	Temperatura	Viscosidad
1	125	194
2	135	148
3	145	106
4	155	86

Fuente: elaboración propia

Grafica 3.3. Temperatura vs Viscosidad Asfalto Convencional

Fuente: elaboración propia

3.3.3. Punto de reblandecimiento anillo y bola ASTM D 36

a) Objetivo.

- Este método se utiliza para determinar el punto de ablandamiento del betún en el intervalo de 30° a 157° C (86° a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C). Se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una

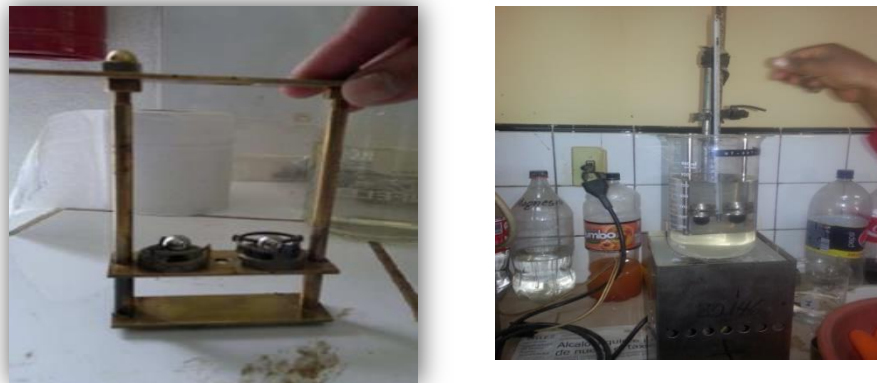
muestra sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina

- Este ensayo mide de forma indirecta la consistencia y equivale a una temperatura de equiviscosidad en las condiciones de ensayo. Junto a la penetración a 25° C, permite calcular el índice de penetración y estimar mediante su valor la susceptibilidad de los asfaltos.

b) Procesamiento

- Se homogeniza su contenido con una espátula.
- Verter una pequeña muestra de betún caliente en cada anillo, posterior a esto permitir que las muestras se enfríen a temperatura ambiente por un periodo mínimo de 30 minutos.
- Una vez que las muestras se encuentren frías, cortar el exceso de betún sobre la parte superior del anillo con un cuchillo o espátula ligeramente caliente, de modo que el betún quede al ras y a nivel con el anillo.
- Monte el aparato con los anillos, guías de centrado de la bola, y el termómetro en posición. Llene la bañera de modo que la profundidad del líquido sea de 105 ± 3 mm con el aparato en su lugar.
- Coloque las esferas en las guías y sumerja el aparato en el medio del baño correspondiente.
- Calentar el baño de tal manera que la temperatura se incremente en rangos de 5°C cada minuto.
- Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Las temperaturas registradas no deben diferir entre sí en más de 1°C, de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.

Figura 3.23. Colocación de esferas sobre anillos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.24. Registro de temperatura



Fuente: Elaboración propia

c) Cálculo y resultados

Tabla 3.18. Resultado del punto de ablandamiento

Ensayos	Tiempo (seg)
1	43,5
2	42,5
Promedio	43

Fuente. Elaboración propia

3.3.4 Ensayo de peso específico ASTM D-70.

a) Objetivo

Se entiende como peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C. Además de dar una identificación de la calidad y origen del material, el peso específico es útil para determinar el peso por unidad de volumen de un ligante calentado a la temperatura de aplicación.

b) Procesamiento

- Picnómetro.
- Baño de agua.
- Termómetro.
- Recipiente de vidrio boca ancha de 600ml.
- Balanza A \pm 0.01gr.
- Agua destilada.
- Asfalto.

c) Procedimiento

Calibración del picnómetro.- Se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón con el líquido de limpieza, enjuagándolo a continuación con agua destilada y secándolo finalmente. Esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración, o bien cuando se observe cualquier falla en el escurrimiento uniforme de los líquidos, en las paredes interiores del picnómetro o en el capilar del tapón.

Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa con aproximación de 1 mg. El peso del picnómetro vacío, se designa por A.

Se seca el vaso del baño y se llena el picnómetro con agua destilada, colocando suavemente el tapón, sin apretarlo. Se sumerge completamente el picnómetro en el vaso y se aprieta entonces el tapón, no debiendo quedar burbujas de aire ocluidas en el picnómetro en esta operación. El vaso con el picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua a 25 °C.

Se deja el picnómetro en el interior del vaso por un mínimo de 30 minutos, se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón pasando suavemente y una sola vez un paño seco por la misma; a continuación, se seca rápidamente el resto del picnómetro y se pesa con aproximación de 0.1 mg. El peso del picnómetro lleno de agua, se designa por B.

Preparación de la muestra.- Calentar con cuidado la muestra, agitándola para evitar sobre calentamientos locales hasta que llegue a ser suficientemente fluida para que pueda ser vertida. La muestra debe ser representativa de la existente en el laboratorio y deberá ser homogénea y no estar contaminada.

Verterlo una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Tomar precaución para evitar que el material se ponga en contacto con las paredes del picnómetro por encima del nivel final y para evitar la inclusión de burbujas de aire. Dejar enfriar el picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y pesar con el tapón con aproximación a 1 mg. El peso del picnómetro con la muestra, se designa como C.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. No deben permitirse burbujas de aire en el picnómetro. Colocar el picnómetro en el vaso y apretar firmemente el tapón. Retornar luego el vaso al baño de agua a 25° C.

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante un período no menor de 30 minutos. Sacar y pesar, este peso del picnómetro con la muestra y con agua, se designa como D.

Figura 3.25. Muestras de asfalto



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26. Registro de peso Picnómetro + asfalto + agua



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculo y resultado

Tabla 3.19. Resultado de la gravedad específica de asfalto convencional

ENSAYO	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Especificaciones	
					Mínimo	Máximo
Peso Específico AASHTO T-227						
Peso Picnómetro	grs.	61,99	62,0			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	142,78	142,8			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	106,92	110,9			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	143,33	143,3			
Peso Específico	grs./cm ³	1,009	1,007	1,008	1	1,05

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5 Puntos de Inflamación Copa Abierta de Cleveland ASTM D-92

a) Objetivo

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el ligante asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

b) Procesamiento

- Arme el aparato sobre una mesa nivelada en una pieza sin corrientes de aire; ubique el protector alrededor del aparato de encendido, afirmado por algún medio adecuado que permita la lectura del Punto de Inflamación.
- Lave la copa de ensaye con un solvente apropiado y quite cualquier aceite o vestigios pegados o residuos remanentes de ensayos anteriores. Si hay depósitos de

carbón remuévalos con una esponja de acero. Limpie la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y elimine los últimos indicios de solvente y agua. Enfríe la copa por lo menos a 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado antes de usarla.

- Mantenga el termómetro en posición vertical con el bulbo a una distancia de 6,5 mm del fondo de la copa y localizada en el punto medio del trecho entre el centro y el borde de la copa, en un diámetro perpendicular al arco o línea del recorrido de la llama de prueba y en el lado opuesto de la llama del quemador.
- Llene la copa a una temperatura conveniente no excediendo 100°C por encima de lo esperado para el Punto de Ablandamiento; de esa manera la parte superior del menisco está en la línea de llenado. Para ayudar en esta operación use un medidor del nivel de llenado. Si un exceso de muestra se ha agregado a la copa, quítelo usando una pipeta u otro aparato adecuado. Sin embargo, si hay muestra que esté fuera del aparato, vacíe, limpie y vuelva a llenar. Destruya cualquier burbuja de aire sobre la superficie de la muestra.
- La luz de la llama de prueba se ajusta a un diámetro de 3,0 a 5,0 mm y se compara con el tamaño del cabezal.
- Aplique calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba a una velocidad entre 14 y 17°C por minuto. Cuando la temperatura de la muestra se aproxime a los 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado, disminuya el calor de modo que la velocidad de la temperatura para 28°C antes del Punto de Inflamación, sea de 5 a 6°C por min.
- Comenzando, al menos 28°C por debajo del Punto de Inflamación, aplique la llama de prueba cada 2°C sucesivos leídos en el termómetro. Pase la llama de prueba a través del centro de la copa, en ángulo recto al diámetro que pasa a través del termómetro; con suavidad continúe el movimiento aplicando la llama en línea recta a lo largo de la circunferencia de un círculo que tenga un radio al menos de 150 mm. El centro de la llama de prueba debe moverse en un plano que diste menos de 2 mm por

encima del plano del borde superior de la copa, pasando en una dirección primero y en el próximo intervalo en la dirección opuesta. El tiempo consumido en pasar la llama a través de la copa será cercano a 1 s. Durante los últimos 17°C , suba la temperatura previa al Punto de Inflamación.

- Informe el Punto de Inflamación como la temperatura leída en el termómetro, cuando aparece el destello en cualquier punto de la superficie del material, pero no confunda el verdadero destello con el halo azulado que algunas veces circunda la llama de prueba.
- Para determinar el Punto de Combustión continúe calentando de modo que la temperatura de la muestra se eleve a una razón de 5 a 6°C por min. Continúe aplicando la llama a intervalos de 2° hasta que el material se inflame y continúe quemándose como mínimo 5 s. Informe la temperatura de este punto como el Punto de Combustión del material.

Figura 3.27. Punto de Combustión



Fuente: Elaboración propia

c) Resultado

De acuerdo a la norma de ensayos de laboratorio de asfalto de ABC para el tipo de asfalto 85-100 el punto de inflamación y combustión mínima es 230°C .

De acuerdo al procedimiento se obtuvo 280 °C de punto de inflamación y 200°C de combustión.

Si la presión barométrica real durante el tiempo de ensayo es menor que 715 mm de mercurio informe y sume la corrección apropiada al Punto de Inflamación y Punto de Combustión de acuerdo a la tabla siguiente

Tabla 3.20. Resultado del punto de Inflamación asfalto convencional

ENSAYO	Unidad	Ensayo	Ensayo	Promedio	Especificaciones	
		1	2		Míni mo	Máxi mo
Peso Específico AASHTO T- 227					Míni mo	Máxi mo
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>265	>264	>263	>232	

Fuente: Elaboración Propia

3.4. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON MATERIAL LATERÍTICO Y RIPIO

3.4.1. Método de diseño Marshall no convencional AASHTO T 245

a) Objetivo

Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan áridos con tamaño máximo absoluto o inferior a 25mm (1pulg.). Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno.

b) Resumen del metodo

- El procedimiento consiste en la elaboración de briquetas (probetas cilíndricas de 101.6 mm. de diámetro y 63.5 mm. de altura, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall determinando su estabilidad y flujo.
- Si se desea determinar el porcentaje de vacíos de las mezclas, se determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las briquetas compactadas antes del ensayo de rotura.
- Previa a la preparación de las briquetas es necesario determinar la granulometría de los áridos y la combinación de estos, además de los pesos específicos de los mismos, así como también del asfalto

c) Equipo y materiales

- **Moldes de Compactación:** Se conforman de una placa de base plana con su molde y collar de extensión cilíndricos. El molde deberá tener un diámetro interior de 4" y una altura aproximada de 3", la placa de base y el collarín deberán ser intercambiables o sea que se deberán ajustar en los dos extremos de los moldes
- **Extractor:** Que sirva para sacar las briquetas del molde
- **Martillo de compactación:** Consiste en una cara circular de 100mm. De diámetro equipada con un peso de 4.515 ± 15 gr. (10lb) Y construido de modo de obtener una altura de caída de 460 ± 2 mm.
- **Pedestal de compactación:** Consiste en un poste de madera de 205 x 205 x 455 mm. Cubierto con una placa de acero de 305 x 305 x 25 mm. Debe estar empotrado y quedar firmemente afianzada y a nivel.
- **Sujetador de molde:** Consiste en un aro con resorte diseñado para mantener centrado y fijo el molde en el pedestal durante la compactación.
- **Mordaza:** Son dos segmentos de cilindro (superior e inferior) con un radio interno de 51 ± 0.2 mm. Diseñado para transmitir la carga.
- **Maquina Marshall:** Aparato eléctrico diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo a una velocidad de deformación de 50 ± 1 mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrada para determinar la carga aplicada de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45 N. con un dial graduado de

0.0025 mm. Y un medidor de flujo con una precisión de 0.01 mm. Para determinar la deformación que se produce en la carga máxima.

- **Horno:** Horno capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C (5 °F) se emplea para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra.
- **Baño de agua:** Deberá ser controlado termostáticamente a 60 ± 1 :C y también contara con un fondo falso y un termómetro centrado y fijo.

Realizar la combinación de agregados de gravedad específica y absorción en relación al porcentaje que se obtiene la estructura granular de las granulometrías propuestas, el diseño de mezcla debe proporcionar la granulometría que se encuentra dentro de los rangos de diseño.

- **Recipientes:** de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.
- **Tamices:** De 50 mm (2"), 37.5 mm (1 1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 12.5 mm (1/2"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (Nº 4), 2.36 mm (Nº 8), 300 µm (Nº 50) y 75 µm (Nº 200).
- **Termómetros blindados:** De 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará termómetro con escala de 20°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (68°F a 158°F + 0.4°F).
- **Balanza:** Para pesar agregado y asfalto de 5 kg. De capacidad, y sensibilidad de un 1 gr. Para pesar probetas compactadas de 2 kg. De capacidad y sensibilidad de 0.1 gr.
- **Pirex de 500 cm³**
- **Guantes de cuero:** Para poder manipular el equipo caliente
- **Bandejas taradas**
- **Espátulas**

3.4.2. Preparación de los especímenes Marshall

a) Dosificación de agregados para una briqueta

El procedimiento para dosificación de agregado que se utilizará en el método de diseño que se explica en este documento es el que recomienda la norma Bolivia de Laboratorio de suelos y asfalto, que los agregados se separen por tamizado seco en ciertas fracciones y recomienda los rangos.

Según el tamaño máximo de los agregados (3/4") que se utilizan en el diseño, se toman las siguientes fracciones de tamaño:

- 25.40 mm a 19.05 mm (1 pulg a ¾ pulg.)
- 19.05 mm a 12.70 mm (¾ a 1/2 pulg.)
- 12.70 mm a 9.53 mm (1/2 a 3/8 pulg.)
- 9.53 mm a 4.75 mm (3/8 pulg. a No. 4)
- 4.75 mm a 3.56 mm (No. 4 a No. 10)
- 3.56 mm a 2.00 mm (No. 10 a No. 16)
- 2.00 mm a 1.00 mm (No. 16 a No. 40)
- 1.00 mm a 0.42 mm (No. 40 a No. 50)
- 0.42 mm a 0.18 mm (No. 50 a No. 80)
- 0.18 mm a 0.075 mm (No. 80 a No. 200)
- Pasa por malla N°200

Nuestro diseño utilizará tres tamaños de agregado con sus respectivos porcentajes establecidos que son: Agregado Grueso ¾" , Agregado Medio 3/8" y Arena ; pero ahora, para poder hacer una briqueta de 1200 g se tienen cuatro fracciones de agregado, lo cual implica que se deben pesar cuatro cantidades, una de cada fracción para complementar una dosificación de agregado para una elaboración de una briqueta; para éstas fracciones no tenemos todavía un porcentaje establecido por lo

que se procede a calcularlo de las granulometrías propuestas que se obtuvo al combinar los tres agregados.

El porcentaje retenido se calcula es restando los porcentajes acumulados que pasan entre las mallas en las que se encuentra dicha fracción

b) Preparación de la mezcla

- a) Pese en bandejas separadas para cada briqueta la cantidad necesaria de cada fracción para producir muestra quede como resultado una briqueta compacta de altura igual a 65 mm. Normalmente se requieren 1200 gr.
- b) Coloque las bandejas en el horno y caliente a una temperatura de aproximadamente 30 °C sobre la temperatura de mezclado.
- c) Coloque el árido caliente en una bandeja y revuelva completamente, forme un cráter en el árido y pese la cantidad necesaria de cemento asfáltico e incorpórela en la bandeja junto con los áridos. Asegúrese que la temperatura en ese instante sea la de mezclado.
- d) Mezcle el asfalto y el árido tan rápido como sea posible hasta que de completamente uniforme.

Figura 3.28. Secando las muestras para la dosificación de cada briqueta



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.29. Pesando las muestras para la dosificación de cada briqueta



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.30. Peso de muestra + asfalto



Fuente: Elaboración Propia

c) Compactación de Briquetas

- a) Prepare el molde y el martillo, limpiéndolos completamente y calentándolos durante 15 min.
- b) A una temperatura próxima a la de compactación, coloque un disco de papel filtro (papel común pintado con aceite sucio) cortado a medida, suavice las paredes del molde con aceite. Coloque el conjunto collar molde y base en el pedestal del compactador.
- c) Coloque la mezcla para la elaboración de briqueta
- d) Llene el molde con la espátula acomodando la mezcla 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro.
- e) Con el martillo de compactación aplique 75 golpes en un tiempo no superior a 90s. Saque la base y el collar, invierta y re ensamble el molde y aplique en la otra cara del molde el mismo número de golpes.
- f) Después de compactar saque la base y deje enfriar la briqueta al aire. Si se desea puede utilizar un ventilador. Normalmente se deja enfriar toda la noche.

Figura 3.31.Preparación del molde



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.32. Disco de papel filtro



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.33. Mezcla del agregado pétreo con el cemento asfáltico



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.34. Controlando la temperatura (esta debe ser 135°C)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.35. Compactación con martillo con 75 golpes por cara



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.36. Desmoldando la briqueta



Fuente: Elaboración Propia

d) Gravedad Específica Bulk mezcla compactada (Gmb)

Después de la compactación de las briquetas y su posterior extracción de los moldes para su respectivo curado a temperatura ambiente, se procede a realizar el ensayo de la gravedad bulk, según AASHTO T 166-05. El procedimiento seguido fue secar los especímenes hasta masa constante (curado a temperatura ambiente). Luego se registró el peso seco de cada briqueta. Luego se sumergieron en un recipiente con agua a 25 °C, dejándolos saturar por lo menos 10 minutos. Al final del período de 10 minutos se removieron los especímenes y se colocaron en la canastilla sumergida previamente agitada para la eliminación de burbujas de aire, y se registró el peso sumergido de cada briqueta, inmediatamente al retirar la briqueta de la canastilla se secó la humedad del espécimen con una toalla húmeda tan rápido como fue posible. Pesamos al espécimen y registramos como peso saturado superficialmente seco.

La norma AASHTO T 166-05 establece que la diferencia máxima permitida entre dos valores de gravedad específica bulk es de 0.02, para que puedan ser promediados, aquella gravedad bulk que sobrepasa dicho valor es descartada.

Figura 3.37. Peso seco



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.38. Briquetas en baño María a 25°C por 10 min



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.39. Determinación del peso sumergido en el agua.



Fuente: Elaboración Propia

Calculo:

$$Gmb = \frac{W_{seco\ al\ aire}}{W_{s.s.s.} - W_{sumergido}} = \frac{B}{C - D}$$

Figura 3.40. Briquetas en baño María a 60°C por 35 min para cada una



Fuente: Elaboración propia

e) Calculo de las Propiedades volumétricas

e.1) Porcentaje de Vacíos en Total de la Mezcla (VTM)

Los vacíos de aire o vacíos en total de mezcla se pueden definir como el volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactada, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla de pavimento compactado.

En mezclas asfálticas densas, este valor de vacíos según las especificaciones, debe estar en el rango de 3 a 5%. Existe una relación entre la gravedad específica bulk y la teórica máxima, esta última no contempla vacíos en su muestra, mientras que una briqueta compactada si posee vacíos en su interior, por lo tanto si el procedimiento se ha efectuado correctamente, la gravedad específica bulk siempre será menor que la gravedad específica teórica máxima.

La fórmula para calcular el porcentaje de vacíos es la siguiente: $100 \cdot (j-f)/j$

$$\% VTM = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} = \frac{J - F}{J}$$

VTM= vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

Gmm= Densidad máxima teórica de la mezcla de pavimentación.

Gmb= Densidad promedio de la mezcla compactada

e.2) Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

Se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total.

La ecuación utilizada para determinar los vacíos en el agregado mineral (VAM) es la siguiente:

$$\% V.A.M. = \%VTM \left(\frac{Gmb * \%C.A.}{Ga.C.A.} \right)$$

Dónde:

VMA= vacíos en el agregado mineral (porcentaje del total de la mezcla)

Gmb= Densidad de la mezcla compactada.

C.A. = Porcentaje de cemento asfáltico.

e.3) R.B.V. (Vacíos llenos con asfalto)

Los vacíos llenos de asfalto, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA), que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, mientras que el R.B.V. solamente abarca el asfalto que une a los agregados (asfalto efectivo), el valor de R.B.V. se expresa generalmente como un porcentaje.

La ecuación que determina el R.B.V. Es la siguiente:

$$\% R.B.V. = 100 * \frac{VMA - VTM}{VMA}$$

Dónde:

R.B.V. = Vacíos llenos con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA= Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del total de la mezcla.

VTM= vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

e.4) Medición de la estabilidad y la fluencia

Para briquetas confeccionadas con cemento asfáltico coloque estas en un baño de agua a $60 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 30 a 40 min antes de ensayar.

Limpie completamente la mordaza, la temperatura de esta debe mantenerse entre 21°C y 38°C usando un baño de agua si es necesario lubrique las barras guías con una película delgada de aceite de modo que la parte superior de la mordaza se deslice nuevamente Si se usa un anillo de prueba para medir la carga aplicada asegúrese que el dial este firmemente ajustado y en cero.

Saque la probeta del agua y seque cuidadosamente la superficie coloque y centre la probeta en la parte inferior de la mordaza luego coloque la parte superior y centre el conjunto en el aparato de carga.

Aplique carga a la briketa a una velocidad constante de deformación de 50 ± 1 mm/min. Hasta que produzca la falla.

El punto de falla queda definido por la carga máxima obtenida el cual se define como la estabilidad Marshall como el número total de Newtons o libras necesarios para producir falla de la briketa a 60°C A medida que avanza el ensayo de estabilidad sujete firmemente el medidor de flujo sobre la barra guía, cuando se produzca la carga máxima, tome la lectura y anótela. Esta lectura es el valor de la fluidez de la briketa expresada en unidades de 0.25 mm (1/100 pulg.)

El procedimiento completo de estabilidad y fluencia comienza desde el momento en que se retira la briketa del agua y no debe durar más de 30 s.

Figura 3.41. Colocado de briquetas en la mordaza Marshall



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.42. Hacer correr y leyendo el dial de Estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de deformación para el Flujo



Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Diseño de la Mezcla no Convencional con Laterita y Ripio

DISEÑO AL 0% DE LATERITA

Tabla3.21. Resultados del Marshall con el 0% de laterita

#	% C.A.	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
1	4,5	2,341	1714,6	6,08	16,53	63,22	9,91
2	5	2,358	1760,6	4,68	16,37	71,44	10,83
3	5,5	2,366	1646,7	6,64	16,55	78,01	12,47
4	6	2,363	1512,2	3,02	17,09	82,32	13,91
5	6,5	2,35	1368,7	2,44	17,66	86,15	14,44
6	7	2,325	1157,7	1,74	18,12	90,41	15,49

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.22. Resultados del Marshall con el 0% de laterita Valores óptimos

1	DENSIDAD	5,30	2,363	-----	-----
	% VACIOS	5,30	4,32		3 5
	R.B.V.	5,30	74,7		75 82
	V.A.M	5,30	16,4		
	ESTABILIDAD (Lb)	5,30	1717	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
	FLUENCIA 1/100"	5,30	11,96		8 14
	% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO				5,3

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.23. Resultados del Marshall con el 2% de laterita

#	% C.A.	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
1	4	2,307	1223,0	8,13	17,29	52,97	7,81
2	4,5	2,325	1499,1	6,72	17,09	60,71	8,86
3	5	2,352	1708,4	4,90	16,56	70,43	10,96
4	5,5	2,361	1747,6	3,82	16,7	77,15	12,95
5	6	2,354	1651,4	3,37	17,38	80,61	14,61
6	6,5	2,352	1393,3	2,72	17,89	84,79	15,68

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.24. Resultados del Marshall con el 2% de laterita Valores óptimos

2	DENSIDAD	5,41	2,357	-----	-----
	% VACIOS	5,41	4,22		3 5
	R.B.V.	5,41	75,2		75 82
	V.A.M	5,41	16,72		
	ESTABILIDAD (Lb)	5,41	1750	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
	FLUENCIA 1/100"	5,41	12,5		8 14
	% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO				5,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.25. Resultados del Marshall con el 4% de laterita

#	% C.A.	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
1	4	2,318	1425,0	7,67	16,87	54,52	8,07
2	4,5	2,333	1572,0	6,35	16,76	62,15	9,71
3	5	2,344	1691,2	5,20	16,83	69,10	11,10
4	5,5	2,354	1719,2	4,07	16,92	75,91	12,93
5	6	2,361	1693,9	3,06	17,11	82,12	14,40
6	6,5	2,358	1568,3	2,44	17,65	86,15	15,94

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.26. Resultados del Marshall con el 4% de laterita Valores óptimos

3	DENSIDAD	5,56	2,355	-----	-----
	% VACIOS	5,56	4	3	5
	R.B.V.	5,56	76,68	75	82
	V.A.M	5,56	16,95		
	ESTABILIDAD (Lb)	5,56	1725	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
	FLUENCIA 1/100"	5,56	12,95	8	14
	% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO				5,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.27. Resultados del Marshall con el 6% de laterita

#	% C.A.	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
1	4	2,308	657,8	8,04	17,20	53,24	8,46
2	4,5	2,327	716,6	6,59	16,98	61,18	9,59
3	5	2,346	956,1	5,07	16,71	69,65	11,09
4	5,5	2,350	1072,4	4,18	17,01	75,42	13,18
5	6	2,354	1143,0	3,32	17,33	80,86	14,63
6	6,5	2,352	1156,8	2,68	17,84	85	16,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.28. Resultados del Marshall con el 6% de laterita Valores óptimos

4	DENSIDAD	5,59	2,353	-----	-----
	% VACIOS	5,59	3,97		3 5
	R.B.V.	5,59	76,95		75 82
	V.A.M	5,59	17,05		
	ESTABILIDAD (Lb)	5,59	1110	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
	FLUENCIA 1/100"	5,59	13,3		8 14
	% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO				5,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.29. Resultados del Marshall con el 8% de laterita

#	% C.A.	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
1	4	2,286	437,0	8,87	17,94	50,56	5,18
2	4,5	2,310	545,9	7,17	17,49	58,98	6,85
3	5	2,330	697,0	5,66	17,22	67,13	8,01
4	5,5	2,343	818,5	4,40	17,19	74,40	12,40
5	6	2,342	900,6	3,75	17,69	78,82	17,65
6	6,5	2,340	894,8	3,10	18,19	82,97	22,38

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.30. Resultados del Marshall con el 8% de laterita Valores Óptimos

5	DENSIDAD	5,80	2,343	-----	-----
	% VACIOS	5,80	3,9		3 5
	R.B.V.	5,80	77,2		75 82
	V.A.M	5,80	17,5		
	ESTABILIDAD (Lb)	5,80	880	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
	FLUENCIA 1/100"	5,80	14,8		8 14
	% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO				5,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.31. Resultados del Marshall con el 10% de laterita

#	% C.A.	Densidad	Estabilidad	(Vv)	(VAM)	(RBV)	FLUJO
1	4	2,28	294,3	9,17	18,21	49,62	5,22
2	4,5	2,285	372,8	8,14	18,34	55,62	7,09
3	5	2,300	442,8	6,82	18,23	62,58	9,51
4	5,5	2,312	495,9	5,61	18,22	69,24	12,47
5	6	2,330	541,2	4,18	18,04	76,86	15,42
6	6,5	2,333	535,6	3,34	18,38	81,84	19,69

Fuente: Elaboración propia

Tabla3.32. Resultados del Marshall con el 10% de laterita Valores óptimos

6	DENSIDAD	6,05	2,329	-----	-----
	% VACIOS	6,05	4,3		3 5
	R.B.V.	6,05	76,72		75 82
	V.A.M	6,05	18,1		
	ESTABILIDAD (Lb)	6,05	533	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
	FLUENCIA 1/100"	6,05	15,9		8 14
	% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO				6,0

Fuente: Elaboración propia

Planillas ver ANEXO II

3.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO BÁSICO

Tabla 3.33. Tratamiento estadístico con el 0% de laterita

N°	FLUJO	N°	ESTABILIDAD
1	9,4	1	1741,6
2	10	2	1816,6
3	10,2	3	1717,4
4	10,6	4	1816,6
5	11	5	1922,4
6	10,8	6	1873,9
7	11,8	7	1688,7
8	12,6	8	1713
9	13	9	1754,9
10	13,4	10	1538,8
11	14,6	11	1509,4
12	13,8	12	1543,2
13	15,2	13	1450,6
14	14,4	14	1388,9
15	13,8	15	1410,9
16	15,4	16	1212,5
17	15,4	17	1234,6
18	15,7	18	1212,5

SUMATORIA	231,1	28546,5
NUMERO DE DATOS	18	18
MEDIA(hd)	12,4987563	1552,39402
DESVIACION (Sd)	2,10241846	230,005123
MEDIANA	13,2	1615,95
VARIANZA	4,17459877	49963,3369

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.34. Tratamiento estadístico con el 2% de laterita

N°	FLUJO	N°	ESTABILIDAD
1	7,48031496	1	1278,668
2	7,67716535	2	1256,622
3	8,26771654	3	1278,668
4	9,05511811	4	1549,8338
5	9,05511811	5	1483,6958
6	8,46456693	6	1468,2636
7	10,8267717	7	1763,68
8	11,023622	8	1741,634
9	11,023622	9	1708,565
10	12,6771654	10	1776,9076
11	13,3858268	11	1752,657

12	12,7952756	12	1697,542
13	14,6850394	13	1649,0408
14	14,1732283	14	1686,519
15	14,9606299	15	1653,45
16	15,3543307	16	1424,1716
17	15,3543307	17	1366,852
18	16,3385827	18	1444,013
SUMATORIA	212,598425		27980,7832
NUMERO DE DATOS	18		18
MEDIA(hd)	11,0674464		1533,28189
DESVIACION (Sd)	2,97602381		182,408093
MEDIANA	11,8503937		1599,4373
VARIANZA	8,36467784		31424,2285

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.35. Tratamiento estadístico con el 4% de laterita

N°	FLUJO	N°	ESTABILIDAD
1	7,67716535	1	1488,105
2	8,26771654	2	1455,036
3	8,26771654	3	1455,036
4	9,64566929	4	1631,404
5	9,84251969	5	1598,335
6	9,64566929	6	1587,312
7	11,2598425	7	1690,9282
8	10,4330709	8	1757,0662
9	11,6141732	9	1697,542
10	12,992126	10	1763,68
11	12,5984252	11	1710,7696
12	13,1889764	12	1719,588
13	14,1732283	13	1723,9972
14	14,7637795	14	1679,9052
15	14,2519685	15	1708,565
16	15,5511811	16	1587,312
17	15,7480315	17	1565,266
18	16,5354331	18	1609,358

SUMATORIA	216,456693	29429,2054
NUMERO DE DATOS	18	18
MEDIA(hd)	11,3868539	1629,15742
DESVIACION (Sd)	2,79542962	98,3753886
MEDIANA	12,1062992	1655,6546

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.36. Tratamiento estadístico con el 6% de laterita

N°	FLUJO	N°	ESTABILIDAD
1	7,87401575	1	650,357
2	8,85826772	2	661,38
3	8,66141732	3	716,495
4	9,05511811	4	705,472
5	9,64566929	5	749,564
6	10,0787402	6	727,518
7	11,4173228	7	925,932
8	11,023622	8	992,07
9	10,8267717	9	959,001
10	13,8582677	10	1036,162

11	13,0708661	11	1113,323
12	12,5984252	12	1058,208
13	14,7637795	13	1124,346
14	14,1732283	14	1102,3
15	14,9606299	15	1168,438
16	16,9291339	16	1146,392
17	15,9448819	17	1135,369
18	16,5354331	18	1181,6656
<hr/>			
SUMATORIA	220,275591		17153,9926
NUMERO DE DATOS	18		18
MEDIA(hd)	11,5772924		910,827481
DESVIACION (Sd)	2,91157794		195,998452
MEDIANA	12,007874		1014,116

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.37. Tratamiento estadístico con el 8% de laterita

N°	FLUJO	N°	ESTABILIDAD
1	5,11811024	1	429,897
2	4,52755906	2	471,7844
3	5,90551181	3	432,1016
4	7,08661417	4	540,127
5	6,69291339	5	551,15
6	6,77165354	6	573,196
7	7,48031496	7	679,0168
8	7,87401575	8	727,518
9	8,66141732	9	705,472
10	12,4015748	10	848,771
11	12,007874	11	804,679
12	12,7952756	12	826,725
13	16,9291339	13	930,3412
14	18,3070866	14	881,84
15	17,7165354	15	870,817
16	22,8346457	16	870,817
17	21,6535433	17	903,886
18	22,6377953	18	936,955

SUMATORIA	217,401575	12985,094
NUMERO DE DATOS	18	18
MEDIA(hd)	9,24842318	673,026657
DESVIACION (Sd)	6,36979269	179,039575
MEDIANA	10,3346457	766,0985

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.38. Tratamiento estadístico con el 10% de laterita

N°	FLUJO	N°	ESTABILIDAD
1	4,80314961	1	335,0992
2	5,66929134	2	308,644
3	5,19685039	3	297,621
4	7,48031496	4	385,805
5	6,69291339	5	396,828
6	7,08661417	6	352,736
7	9,84251969	7	436,5108
8	10,0393701	8	462,966
9	8,66141732	9	440,92
10	12,5984252	10	462,966
11	12,992126	11	551,15

12	11,8110236	12	507,058
13	15,7480315	13	529,104
14	15,5511811	14	573,196
15	14,9606299	15	551,15
16	20,0787402	16	529,104
17	19,8818898	17	518,081
18	19,0944882	18	584,219

SUMATORIA	208,188976	8223,158
NUMERO DE DATOS	18	18
MEDIA(hd)	9,44381849	437,133525
DESVIACION (Sd)	5,09710936	92,8723852
MEDIANA	10,9251969	462,966
VARIANZA	24,5371614	8146,09772

Fuente: Elaboración Propia

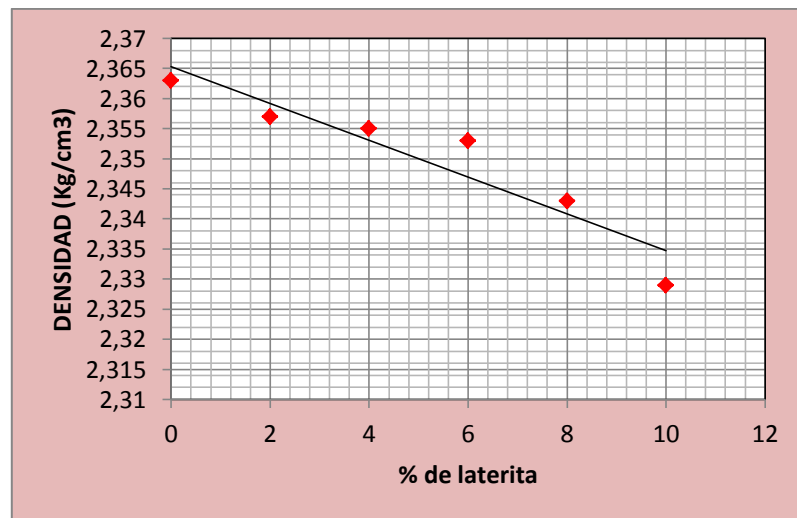
3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.6.1. Análisis de Resultados caracterización de los materiales pétreos

- Se caracterizó el material laterítico y ripio logrando su clasificación, mediante límites líquidos, límites plásticos, granulometría logrando clasificar a los suelos como Arcilla limosa arenosa siendo un A - 4 (4) el suelo laterítico y Grava bien graduada con arena siendo un A - 1a (0) el ripio.

3.6.2. Análisis de Resultados del Método Marshall con diferentes porcentajes de laterita

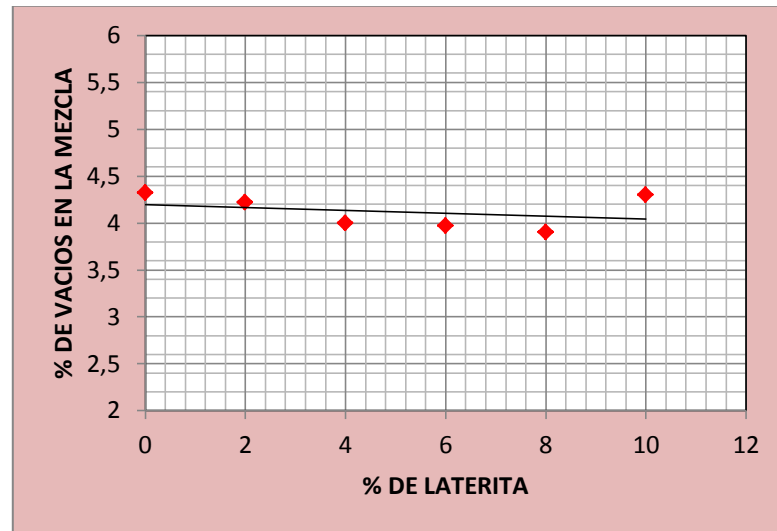
Grafica 3.4. Densidad vs % de laterita



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa la densidad directamente proporcional a diferentes porcentajes de material laterita adicionado al material de canto rodado (ripio), se observa que la densidad disminuye en función que se va añadiendo el % de laterita.

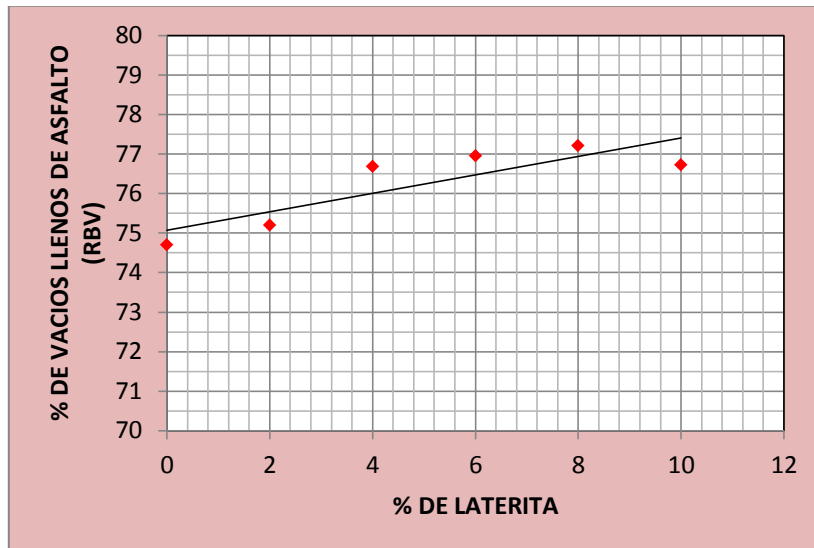
Grafica 3.5. % vacíos vs % de laterita



Fuente: Elaboración Propia

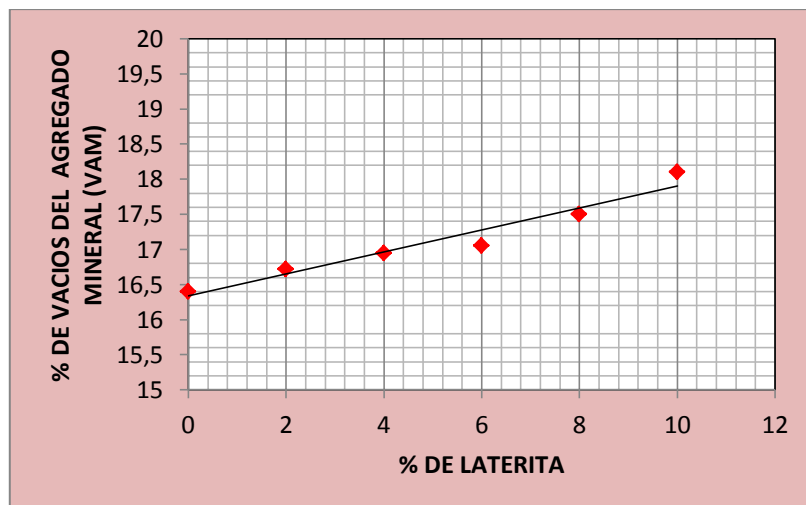
En el grafico se observa el porcentaje de vacíos en la mezcla (V_v) es directamente proporcional a diferentes porcentajes de laterita adicionado al material de canto rodado (ripio), se observa que el porcentaje de vacíos desciende en cuanto se va aumentando el porcentaje de laterita.

- Con los resultados del % de vacíos del Marshall con el incremento de laterita de (0%, 2%, 4%,6%) el % de vacíos disminuye pero a partir del (8% de laterita) el porcentaje de vacíos empieza a aumentar.
- Se observa que todos los porcentajes de laterita cumplen con este parámetro ya que se encuentra dentro del rango establecido por norma que es (3-5) %.

Grafica 3.6. % RBV vs % de Laterita

Fuente: Elaboración Propia

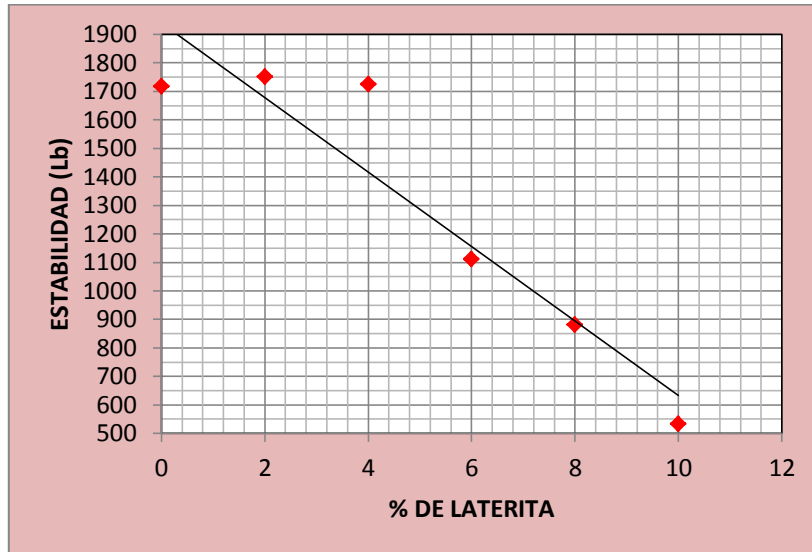
En el gráfico se observa el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV) en la mezcla es directamente proporcional a diferentes porcentajes de laterita adicionado al material de canto rodado (ripio), se observa que el porcentaje de (RBV) asciende en cuanto se va añadiendo el % de laterita.

Grafica3.7. % VAM vs % de laterita

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) es directamente proporcional a diferentes porcentajes de laterita adicionado al material de canto rodado (ripio), se observa que el porcentaje de vacíos aumenta en cuanto se va aumentando el % de laterita.

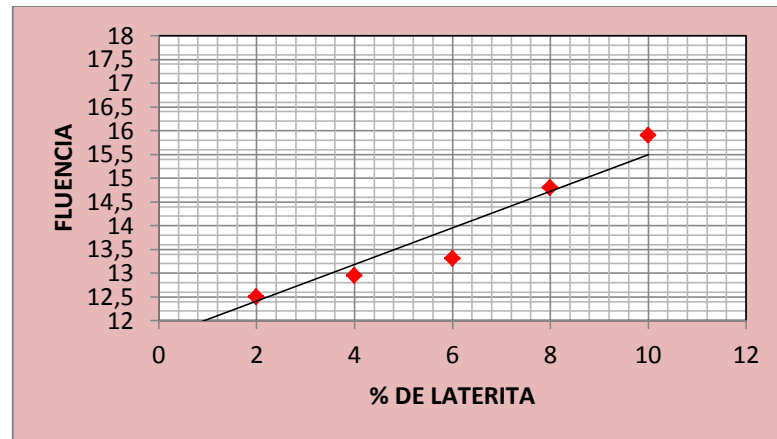
Grafica 3.8. Estabilidad vs % de laterita



Fuente: Elaboración Propia

- En el gráfico se observa la estabilidad con diferentes porcentajes de laterítico y ripio en la mezcla asfáltica se pudo comprobar que a medida que se va incrementando el porcentaje de laterita la estabilidad disminuye en el ensayo Marshall y por ende no llega a cumplir con el valor mínimo según norma que es 1200 Lb. para tráfico mediano; los únicos porcentajes que cumplen con ese valor es de 0%, 2%, 4% de laterita en estos porcentajes la estabilidad cumple siendo la misma mayor a 1200Lb.

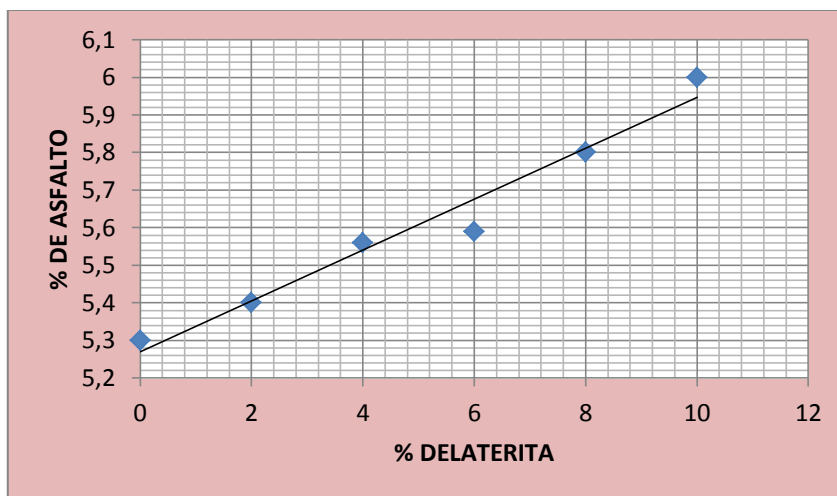
Grafica 3.9. Fluencia vs % de laterita



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa que la Fluencia es directamente proporcional a diferentes porcentajes de laterita adicionado al material de canto rodado (ripio), se observa que:

- Al incrementar los porcentajes de laterita se observa que la fluencia va aumentando y por lo tanto se sale dentro del rango que se encuentra este parámetro según norma que es entre (8-14); los únicos porcentajes que cumplen con este parámetro es de 0%, 2%, 4% y 6% de laterita.
- De acuerdo a los resultados presentados en la presente investigación, se puede observar que los porcentajes (8%,10%) de laterita no cumple con la fluencia ya que se encuentra por encima de su rango (8-14) %.

Grafica 3.10. % de asfalto vs % de Laterita

Fuente: Elaboración Propia

- Se observa que a mayor % de laterita se requiere mayor % de asfalto.

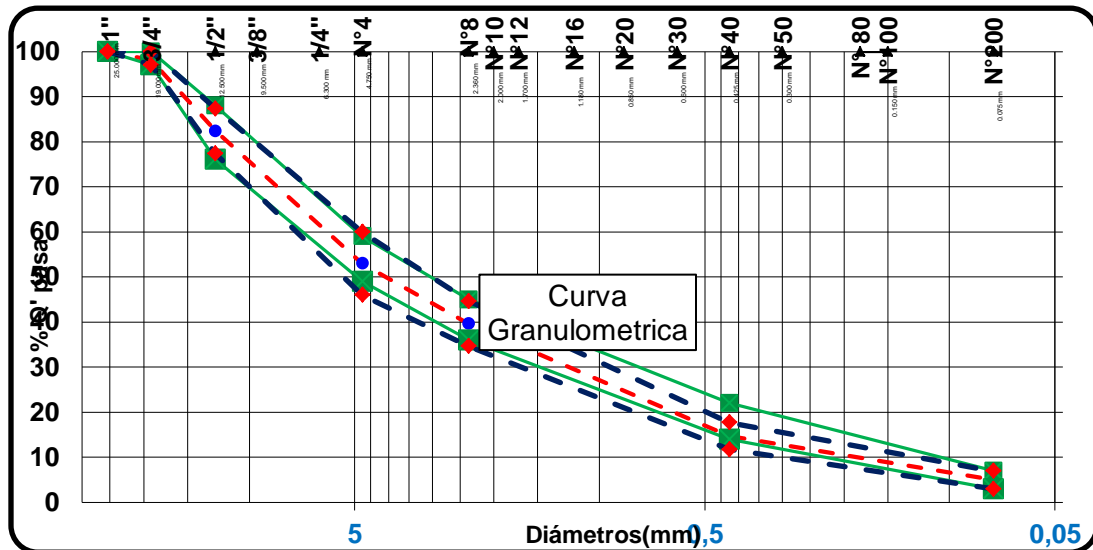
Tabla 3.39. Resultados óptimos del Marshall con todos los diseños

	100% RPIO	2% LATERITA	4% LATERITA	6% LATERITA	8% LATERITA	10% LATERITA
CARACTERÍSTICAS	VALORES	VALORES	VALORES	VALORES	VALORES	VALORES
DENSIDAD	2,363	2,357	2,355	2,353	2,343	2,329
% VACÍOS (3-5)%	4,32	4,22	4	3,97	3,9	4,3
R.B.V. (75-82)%	74,7	75,20	76,68	76,95	77,2	76,72
V.A.M > 15%	16,4	16,72	16,95	17,05	17,5	18,1
ESTABILIDAD > 1200(Lb)	1717	1750	1725	1110	880	533
FLUENCIA 1/100"(8-14)	11,96	12,50	12,95	13,30	14,8	15,9

Fuente: Elaboración Propia

- Se puede observar que la dosificación 100% ripio y 2% de laterita cumplen en el % de vacíos en la mezcla que es 4,32 y 4,22 respectivamente ya que se encuentran dentro del rango establecido que es (3-5) % por norma. El mejor valor del % de vacíos en la mezcla se lo obtiene en la dosificación del 4% de laterita ya que es 4%. En los porcentajes de 6%, 8% y 10% también cumplen.
- Se verifica que el % de vacíos llenos de asfalto en la mezcla no cumple en la dosificación de 0% de laterita ya que tienen un valor menor a 75%; las dosificaciones de 2%, 4%, 6%, 8%, 10% si cumplen ya que se encuentran dentro del rango por norma que varía entre (75-82) %.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral V.A.M cumple en todas las dosificaciones ya que son mayores a 15%
- La estabilidad solo cumple en los tres primeros % es decir en 0%, 2%, 4% siendo estos valores mayores a 1200Lb. lo que cumple con la norma para tráfico liviano.
- La fluencia cumple en los porcentajes de (0, 2, 4, 6)% laterita ya que estos se encuentran dentro del rango que es (8-14) % según norma, el porcentaje de 8% y 10% de laterita no cumple en este parámetro siendo estos valores mayores a 14%.
- Se observa que los porcentajes de 2% y 4% de laterita cumplen en todos las características de la mezcla asfáltica.

Grafica 3.11. Curva granulometría con el porcentaje óptimo del 4%de laterita



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.40. Resultados del Marshall con el porcentaje optimo del 4% de laterita

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Densidad	2,355	-----	-----	
Porcentaje Vacíos (%)	4	3	5	CUMPLE
Porcentajes de Vacíos Llenos de Asfalto (R.B.V)	76,68	75	82	CUMPLE
Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (V.A.M)	16,95	>15		CUMPLE
Estabilidad (Lb)	1725	> 1200Lb.		CUMPLE
Fluencia 1/100"	12,95	8	14	CUMPLE
Porcentaje Óptimo de Asfalto Propuesto (%)		5,6		

Fuente: Elaboración Propia

- El porcentaje óptimo es de 4% de laterita y 96% de ripio, debido a que con este porcentaje cumple todas las especificaciones técnicas del Marshall para un tráfico mediano, donde también con la granulometría de estos porcentajes se logra entrar dentro de la faja del Marshall.

Tabla 3.41. Especificaciones técnicas para el método Marshall

ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL METODO MARSHALL						
CARACTERISTICAS	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Estabilidad, N	3336		5338		8006	
Lb	750	---	1200	---	1800	---
Flujo 0,25mm (0,01 pulgada.)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	15	-----	15	----	15	---
Porcentajes de Vacíos Llenos de Asfalto (RBV)	70	80	65	78	65	75
ESPECIFICACIONES TECNICA DE LOS AGREGADOS						
Densidad relativa mínima			>2,4			
Desgaste de los Ángeles			>35(%)			
Equivalente de arena			>45(%)			

Fuente: The Asphalt Institute

Tabla 3.42. Especificaciones técnicas de los agregados

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS AGREGADOS	RESULTADOS CON EL 4% DE LATERITA	
Desgaste de los Ángeles	<35	21,98	CUMPLE
Equivalente de Arena	>45	38,9	NO CUMPLE

Fuente: The Asphalt Institute.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- En el presente proyecto de investigación se ha cumplido con el objetivo general planteado; donde se ha evaluado el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica no convencional; demostrando que al aumentar el porcentaje de material laterítico al ripio la estabilidad baja y la fluencia aumenta; como así también se evaluó las diferentes características de la mezcla asfáltica como la densidad de la mezcla donde al incrementar el porcentaje de laterita la densidad disminuye; porcentajes de vacíos de aire al incrementar el porcentaje de laterita el porcentaje de vacíos disminuye y luego vuelve a aumentar; contenido de asfalto aumenta a medida que se va incrementando el porcentaje de laterita.
- Se caracterizó el material laterítico y ripio logrando su clasificación, mediante límites líquidos, límites plásticos, granulometría donde se clasificó a los suelos como Arcilla limosa arenosa siendo un A - 4 (4) el suelo laterítico y Grava bien graduada con arena siendo un A - 1a (0) el ripio.
- Se realizó 6 diseños de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de laterita y ripio; siendo estos de 0, 2, 4, 6, 8, 10 % de laterita y 100, 98, 96, 94, 92, 90 % de ripio respectivamente. Al realizar los ensayos con diferentes porcentajes de laterítico y ripio en la mezcla asfáltica se pudo comprobar que a medida que se va incrementando el porcentaje de laterita la estabilidad disminuye en el ensayo Marshall y por ende no llega a cumplir con el valor mínimo según norma que es 1200 Lb. para tráfico mediano; los únicos porcentajes que cumplen con ese valor es de 0%, 2%, 4% de laterita en estos porcentajes la estabilidad cumple siendo la misma mayor a 1200Lb.
- Al incrementar los porcentajes de laterita se verifico que la fluencia va aumentando y por lo tanto se sale dentro del rango que se encuentra este parámetro según norma que es entre (8-14); los únicos porcentajes que cumplen con este

parámetro es de 0%, 2%, 4% y 6% de laterita. De acuerdo a los resultados presentados en la presente investigación, se verifico que los porcentajes de (8% y 10%) de laterita no cumple con la fluencia ya que se encuentra por encima de su rango (8-14) %.

- El porcentaje óptimo es de 4% de laterita y 96% de ripio, debido a que con este porcentaje cumple todas las especificaciones técnicas del Marshall para un tráfico mediano, donde también con la granulometría de estos porcentajes se logra entrar dentro de la faja del Marshall; en las especificaciones técnicas del agregado si cumple en el ensayo de Desgaste de los Ángeles siendo este de 21,98% menor a 35%; en el ensayo de Equivalente de Arena no cumple siendo este de 38,9% es menor a 45%.
- Se pudo observar que al incrementar el porcentaje de laterita al ripio la estabilidad disminuye y la deformación aumenta considerablemente.

4.2. RECOMENDACIONES

- Con estos resultados se recomienda que al ser una mezcla asfáltica no convencional es recomendable para la construcción en vías de tráfico liviano. Además el aprovechamiento e materiales propios de la zona se convertiría en un hecho ventajoso desde el punto de vista económico y ambiental.
- Es recomendable antes de la selección de del tamaño de partícula ripio que se utilizara es recomendable realizar un cuarteo para la mejor selección de muestra.
- Se recomienda que al trabajar con mezcla asfáltica a temperaturas altas se utilice el equipo necesario de seguridad para su manipuleo: guantes de cuero o lona, gafas de seguridad, ropa adecuada de preferencia un overol y mascarillas (tipo barbijo) para evitar la inhalación de gases u otras sustancias.
- En caso de una quemadura con asfalto, aplicar agua o hielo inmediatamente, no remover el asfalto de la piel y tampoco cubrir con una venda, recurrir inmediatamente a un médico.

- Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos.
- Se recomienda tener en cuenta que al utilizar el martillo Marshall manualmente tener cuidado con los golpes ya que al no hacerse a la misma intensidad pueden variar en los resultados.
- Es importante y se recomienda dar mantenimiento al equipo Marshall para compactación y la prensa Marshall, para obtener valores correctos.