

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En Tarija, es crucial abordar el deterioro de las principales avenidas y vías de acceso para mejorar la calidad de las vías. Su deterioro se debe principalmente a la falta de investigación sobre métodos que mejoren sus propiedades físico-mecánicas y al uso de mezclas asfálticas convencionales. Este problema se manifiesta en diversas fallas, como fisuras, agrietamiento y ahuellamiento.

La vida útil de una carretera o calle se ve afectada por varios factores, como materiales inadecuados, diseño deficiente y métodos constructivos inapropiados. Entre las fallas más significativas se encuentra la deformación permanente, que afecta la durabilidad de los pavimentos asfálticos. Investigaciones recientes han explorado nuevas técnicas experimentales para mejorar la calidad y vida útil de los pavimentos, considerando el crecimiento del parque automotor y las mayores cargas vehiculares.

Las mezclas asfálticas convencionales han sido objeto de estudio para mejorar sus propiedades y prolongar la vida útil de los pavimentos flexibles. Investigaciones, como las realizadas por la Universidad Católica de Colombia y la Universidad San Martín de Porres de Perú, han evaluado diferentes geomallas y han demostrado características mecánicas superiores a las convencionales.

El cemento asfáltico ha sido el principal insumo en la construcción de pavimentos en los últimos años, lo que ha llevado al desarrollo de técnicas para mejorar sus propiedades. Se han utilizado geosintéticos para mejorar el comportamiento elástico, la resistencia a la fisuración por fatiga y el envejecimiento.

A pesar de sus potenciales beneficios, se conoce poco sobre los materiales geosintéticos, cuyas propiedades hidráulicas y mecánicas podrían ser útiles en el desarrollo de vías en el futuro. La investigación propone una nueva metodología que busca proporcionar alta

calidad en el diseño de mezclas asfálticas, considerando la influencia de los agregados y la adición de la geomalla FORTGRID ASPHALT 160.

1.2 Situación problemática

La situación actual de los pavimentos flexibles en la ciudad de Tarija, es uno de los principales problemas de las obras de infraestructura vial, las diferentes fallas que se presentan después de su construcción y a lo largo de la vida útil del proyecto se debe a que los pavimentos están sometidos permanentemente a esfuerzos de deformación, los cuales producen deterioros en las carreteras ocasionando los diferentes tipos de fallas tales como: fisuras, grietas longitudinales, grietas transversales, piel de cocodrilo, grietas en bloque, grietas de borde y las grietas por fatigamiento las cuales pueden traer como consecuencia peligros a la sociedad que transita por estas vías.

Así mismo el estado de las vías de la ciudad provoca un severo deterioro de los vehículos y un mayor tiempo de recorrido aumentando el consumo de combustible lo que se traduce en mayores costos de mantenimiento y operacionalización del vehículo.

Las mezclas asfálticas convencionales utilizadas en la construcción tienen propiedades y características que en la actualidad no son suficientes para satisfacer las necesidades debido al incremento de flujo vehicular, por esta razón buscamos soluciones que ayuden a mejorar las características de los asfaltos y su comportamiento.

Por todo lo expuesto anteriormente, la incorporación de los materiales geosintéticos es de suma importancia por lo que es necesario la aplicación de la geomalla FORTGRID ASPHALT 160 en pavimentos flexibles, así poder reforzar y de cierta manera alargar su vida útil.

1.2.1 Problema

¿Cómo la incorporación de la geomalla FORTGRID ASPHALT 160 mejorará las características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

En la actualidad la falta de mantenimiento y elaboración de buenas mezclas asfálticas se debe a varios factores como ser la falta de aplicación de los estudios realizados en laboratorios, muy poco presupuesto para la incorporación de geosintéticos en la creación y aplicación de las mismas a su vez la falta de interés de las autoridades del municipio para poder realizar el mantenimiento constante de las vías y dar solución a los problemas observados.

La geomalla fortgrid asphalt 160 es una nueva alternativa que ayudara a mejorar las condiciones actuales de las mezclas asfálticas sobre todo alargando su vida útil ayudando a evitar hundimientos, piel de cocodrilo entre otras ya mencionada, la incorporación de la malla a largo plazo evitará de cierta manera el constante mantenimiento de las vías, debido a que el material se encuentra en el mercado de la región se facilita la obtención del mismo y su aplicación en futuros proyectos a realizarse.

1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema

Delimitación temporal.

La investigación se desarrolla en tiempo presente donde las variables de estudio no se van a modificar en el tiempo.

Delimitación espacial.

Diseño de pavimentos a través del diseño de mezclas asfálticas y modificadas con geomallas FORTGRID ASPHALT.

1.3 Justificación

La investigación busca realizar una comparación entre las mezclas asfálticas convencionales y las mezclas asfálticas modificadas incorporando la geomalla FORTGRID ASPHALT 160, con el fin de determinar el comportamiento en sus características mecánicas. Y también conocer lo útil y necesario que pueden ser los geosintéticos entre ellos la geomalla FORTGRID ASPHALT 160, a lo cual se realizó el

análisis para determinar sus características y demostrar la incidencia que tiene en el comportamiento de las mezclas asfálticas.

El aporte académico será importante ya que se mostrará una nueva alternativa para modificar los cementos asfálticos y así diseñar o encontrar mezclas asfálticas con mayor rendimiento.

Con el fin de evitar deterioros irreversibles que conlleven a la reconstrucción total de una carretera es importante dar a conocer las características de los materiales geosintéticos entre ellos la geomalla FORTGRID ASPHALT 160 para la aplicación en pavimentos flexibles.

Estudios han comprobado que la vida útil de los pavimentos se puede prolongar a mayor tiempo cuando se implementa el uso de estos materiales ya que los geosintéticos son utilizados también para el mejoramiento de los suelos por sus propiedades físico mecánicas, debido a estas propiedades es aconsejable proponer el uso de estos materiales para una mejor resistencia y prolongada vida útil de los pavimentos flexibles.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

- Evaluar las mezclas asfálticas incorporando FORTGRID ASPHALT 160, a través del diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall, para determinar el comportamiento de sus características mecánicas como ser estabilidad y fluencia, para mejorar sus propiedades.

1.4.2 Objetivo específico

- Caracterizar los agregados pétreos.
- Caracterizar las propiedades del cemento asfáltico.
- Elaborar y evaluar probetas de investigación con la incorporación de geomallas a tres diferentes alturas.
- Determinar las propiedades de la mezcla asfáltica.

- Establecer los resultados de la investigación realizada con la incorporación de la geomalla FORTGRID ASPHALT 160.

1.5 Hipótesis

Si se elabora mezclas asfálticas reforzadas con la geomalla FORTGRID ASPHALT 160, entonces se permite mejorar las características y propiedades mecánicas de las mezclas y así dar mayor vida útil y reducir costos en los pavimentos.

1.6 Operacionalización de las variables

Las variables identificadas son las siguientes:

- Variable independiente: Mezcla asfáltica.
- Variable dependiente: Estabilidad, Fluencia.

La variable independiente, antecede en el tiempo a la dependiente. Se trata de una hipótesis del tipo explicativo o casual.

1.6.1 Variables independientes

Tabla 1.1 Variable Independiente

Variable	Conceptualización	Indicador	Dimensión	Dimensión
Mezcla Asfáltica	Está formada por una combinación de agregados pétreos, ligante hidrocarbonado	Caracterización de las Mezclas Asfálticas	Cemento Asfáltico convencional	Metodología Marshall

Fuente: Elaboración propia

1.6.2 Variables dependientes.

Tabla 1.2 Variable Dependiente

Variable Dependiente	Conceptualización	Indicador	Dimensión	Dimensión
Estabilidad	La estabilidad se ejecuta con el fin de medir la resistencia a la deformación de la mezcla.	Mínima de 1800 N. a 75 golpes.	Estabilidad	El proceso se realizará conforme a la norma ASTM D-1559
Fluencia	Es la deformación que va a sufrir la muestra al medir su estabilidad.	8mm-14mm (0.01 pulgadas) a 75 golpes	Fluencia	El proceso se realizará conforme a la norma ASTM D-1559

Fuente: Elaboración propia

1.7 Identificación del tipo de investigación

El tipo de investigación es explicativa, debido a que busca explicar el comportamiento de las mezclas asfálticas calientes, obtenidas en laboratorio a través de los ensayos de Marshall.

1.8 Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1 Unidad de estudio

Mezclas asfálticas.

1.8.2 Población

Mezclas asfálticas modificadas.

1.8.3 Muestra

Mezclas asfálticas elaboradas con fracción de Geomalla triturada FORTGRID ASPHALT 160, agregados (grava, gravilla y arena), el ligante asfáltico (cemento asfáltico convencional Betunel 85-100).

1.8.4 Muestreo

Es un muestreo intencional ya que se escogió a los componentes que formaron parte de la investigación, cemento asfáltico y la malla FORTGRID ASPHALT 160.

1.9 Métodos y técnicas empleadas

1.9.1 Método

El método que se empleo fue el teórico y empírico. El teórico por que se estudió las características, propiedades y funciones tanto de las mezclas asfálticas y de la malla FORTGRID ASPHALT 160.

Por otra parte, en el método empírico se realizaron ensayos de laboratorio y trabajo de campo para la caracterización de los agregados y del cemento asfáltico.

1.9.2 Técnicas

Técnicas teóricas, mediante la revisión bibliográfica.

Técnicas empíricas, a través de los ensayos realizados en los laboratorios de suelos y asfaltos.

1.9.2.1 Caracterización de los agregados

- Selección de los agregados.
- Granulometría.
- Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos.
- Peso específico y absorción de agua en agregados finos.
- Peso unitario.
- Desgaste mediante la máquina de los ángeles.
- Equivalente de arena.
- Porcentaje de caras fracturadas.
- Determinación de partículas largas y achatadas.

1.9.2.2 Cemento asfáltico

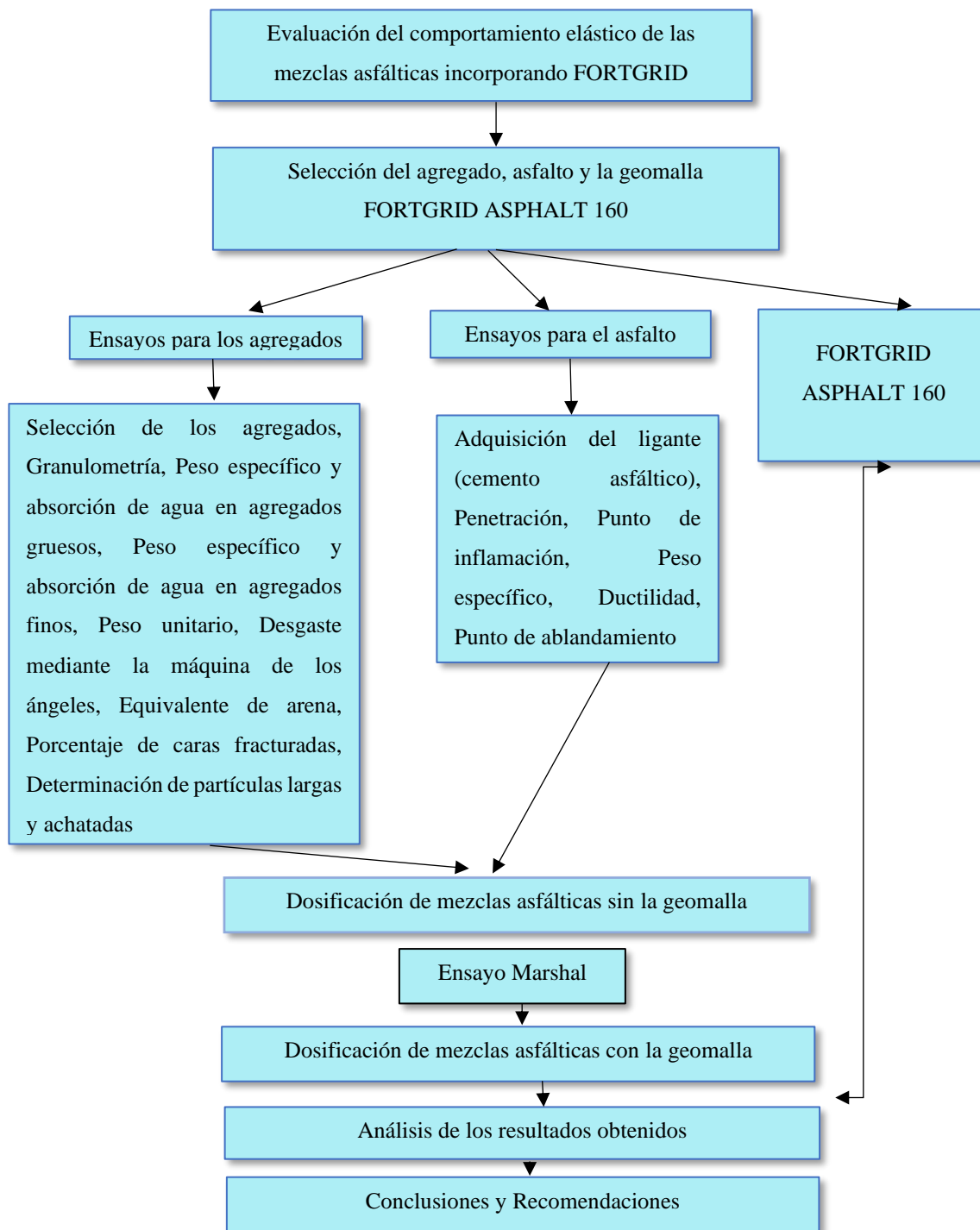
- Adquisición del ligante (cemento asfáltico).
- Penetración a 25 °C.
- Punto de inflamación.
- Peso específico.
- Ductilidad.
- Punto de ablandamiento.

1.9.2.3 Ensayos Marshall

- Estabilidad.
- Fluencia.
- Densidad.
- Porcentaje de vacíos.

Los ensayos se realizan en los laboratorios de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y también en un laboratorio privado CEPAS debido a la falta de disposición de los equipos, los mismos cuentan con todo el equipo necesario que se requiere en la presente investigación, los resultados obtenidos serán avalados por los encargados de laboratorio

Figura 1.1 Flujograma de actividades en función a procedimiento por perspectiva



Fuente: Elaboración propia

1.10 Procedimiento de la información

Desarrolladas las pruebas de los laboratorios en cuanto a la caracterización y propiedades de los suelos, se procedió a realizar un trabajo en gabinete que consistía en tabular e interpretar los datos obtenidos.

1.11 Alcance de la investigación

La investigación contempló un análisis para determinar las propiedades de la mezcla asfáltica con la incorporación de la geomalla FORTGRID ASPHALT 160 y para identificar a qué altura la geomalla presentó un mejor comportamiento respecto a la estabilidad y fluencia. Se llevó a cabo una caracterización detallada de los materiales a utilizar, que incluyó la caracterización del cemento asfáltico, la fabricación de briquetas y la realización del ensayo Marshall.

Para el desarrollo de esta investigación, primero se realizó la caracterización de los agregados pétreos, estos fueron extraídos de la comunidad de Sella por la chancadora Áridos Garzón y del cemento asfáltico convencional de procedencia MULTINSA-COLOMBIA, ambos dotados por la Alcaldía Municipal de Tarija.

Posteriormente se realizaron briquetas incorporando las geomallas a diferentes alturas: 0 cm, 2 cm y 4 cm desde la base. Las briquetas fueron elaboradas utilizando un cemento asfáltico de penetración 85-100, seleccionando agregados gruesos de 3/4", 3/8" y agregado fino que cumplieran con las especificaciones establecidas por la norma de la ABC.

Una vez concluidas las briquetas, se procedió a evaluar su comportamiento mediante el ensayo Marshall, que permitió determinar la estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas. Los resultados obtenidos de estas pruebas de laboratorio fueron analizados y comparados a través de tablas comparativas. Estas tablas facilitaron la visualización de las diferencias en el desempeño de las briquetas con geomallas a distintas alturas.

Finalmente, la investigación proporcionó valiosos datos sobre el comportamiento de la mezcla asfáltica con geomallas, ofreciendo recomendaciones para futuras aplicaciones en la construcción de pavimentos más duraderos y eficientes.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS

MEZCLAS ASFÁLTICAS

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1 Mezclas asfálticas

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

Una 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 en el pavimento. (Cepeda Aldape, 2002)

Figura 2.1 Mezclas asfálticas



Fuente: TDM Perú

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 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. (Padilla Rodríguez)

Existen tres métodos de diseño utilizados para determinar las proporciones adecuadas de asfalto y agregados. Ellos son el método Marshall, el método Hveem y actualmente el método que se utiliza en EEUU. es el método SUPERPAVE ya que se considera que la metodología de diseño está basada en pruebas más reales y científicas y no empíricas como las del método Marshall. Debido a las condiciones económicas los países como el nuestro continúan utilizando el método Marshall.

2.1.1 Clasificación de las mezclas asfálticas

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas: (Urrego & Ruiz Ramirez, 2016).

2.1.1.1 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 (Urrego & Ruiz Ramirez, 2016)

2.1.1.2 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 al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Esta planta contraflujo produce concreto asfáltico en caliente y está compuesta por un sistema de dosificación de áridos, una zona de secado y mezclado, un sistema de almacenamiento y calentamiento de asfalto y combustible, un sistema de filtrado y recuperación de finos y un silo de almacenamiento de mezcla asfáltica. Algunas de las ventajas de las mezclas asfálticas en caliente son que poseen: estabilidad, durabilidad, flexibilidad y alta resistencia a las bajas temperaturas. Además de las mezclas asfálticas en caliente también son muy utilizadas las mezclas asfálticas en frío, pero estas últimas tienen distintas características como que están compuestas por agregados minerales con asfalto emulsionado y son mezcladas a temperatura ambiente.

Figura 2.2 Mezclas asfálticas Calientes



Fuente: Probisa España

Características de las mezclas asfálticas en caliente

Estas mezclas en caliente, tienen buen comportamiento en servicio cuando son proyectadas, construidas y apoyadas correctamente. Se deben tener en cuenta para este fin, las siguientes características de servicio:

Durabilidad

La mezcla debe ser resistente a los agentes climáticos, particularmente a la acción desintegrante del agua y al alto tránsito. Depende fundamentalmente de la utilización de agregados pétreos sanos, y duros, de un adecuado contenido de cemento asfáltico, de la compactación relativa de la mezcla, del contenido de

vacíos, de la calidad del filler en el caso de usarse y de que el material que pasa el tamiz N°40 de la mezcla no tenga plasticidad.

Resistencia al deslizamiento

Es necesario contar con un porcentaje de cemento asfáltico óptimo y con un porcentaje de vacíos adecuado. Un exceso de cemento asfáltico en la capa de rodamiento es la causa más común de deslizamiento; Bajo contenido de cemento asfáltico (o una falta de adherencia) y agregados que se pulan con el tránsito, originan una falta de fricción entre los neumáticos y el pavimento durante la acción del frenado, sobre todo en períodos de lluvia o alta humedad. Es necesario contar con un porcentaje de vacíos suficientes, como para el aumento de densidad de la mezcla por la reiteración de cargas, no sea motivo de afloración del cemento asfáltico.

Flexibilidad

Es la capacidad de deformarse elásticamente que tiene la mezcla asfáltica, para acompañar sin agrietamientos, ni roturas, las pequeñas deflexiones que sufre la base bajo cargas, por otra parte, debe tener cierto carácter plástico que le permita relajar las tensiones provocadas por las diferencias de temperatura y adaptarse al movimiento de las estructuras viales manteniendo uniforme e íntimo contacto con las capas de apoyo no asfálticas. Está influenciada por la rigidez del cemento asfáltico usado (medido por la penetración o la viscosidad y su susceptibilidad térmica), por un adecuado porcentaje de cemento asfáltico óptimo; por la relación filler-betún y por la relación estabilidad-fluencia.

Estabilidad

Puede definirse como la resistencia a la deformación plástica de la mezcla bajo la acción del tránsito. La mezcla asfáltica compactada es sometida en estado de compresión semi-confinada a esfuerzos de corte. Depende su comportamiento de la forma, tamaño y textura superficial de los agregados; dureza y cubicidad de los mismos; características del cemento asfáltico; porcentaje óptimo del mismo; relación filler-betún y grado de compactación.

Compactibilidad

La mezcla debe permitir una fácil distribución y una correcta densificación. Los factores que influyen son: tipo de cemento asfáltico; porcentaje óptimo del mismo, granulometría, textura y rugosidad del agregado y muy particularmente la forma de las partículas del agregado mineral y la relación filler-betún. Un adecuado porcentaje de arena natural redondeada, asegura una buena trabajabilidad.

El cumplimiento de estas cinco características mencionadas, involucra además de los factores mencionados para cada una de ellas, el especial cuidado de las temperaturas y procesos de mezclado, aplicación y compactación.

- **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. (Urrego & Ruiz Ramirez, 2016)

Figura 2.3 Mezclas asfálticas en frío



Fuente: Asfalto en frío mx

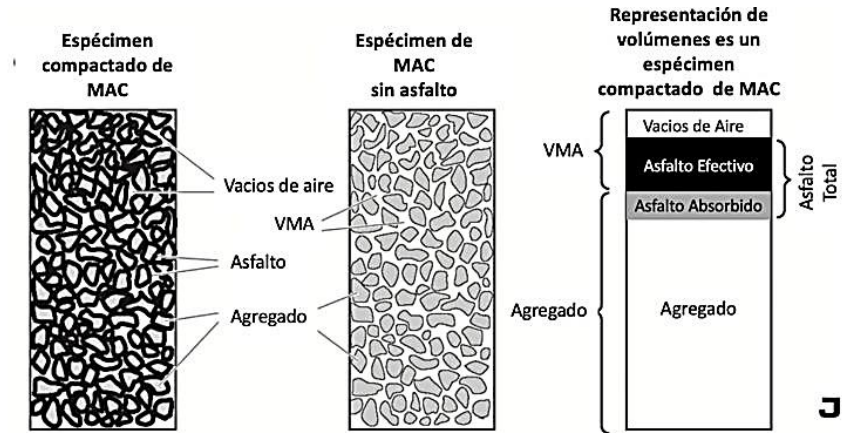
2.1.1.3 Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica

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 %. (Urrego & Ruiz Ramirez, 2016)

Figura 2.4 Vacíos en mezclas asfálticas

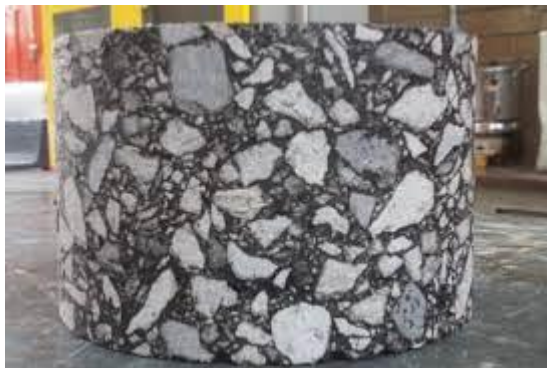


Fuente: Filadd

2.1.1.4 Por el Tamaño máximo del agregado pétreo

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: También llamadas micro aglomerados, 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.

Figura 2.5 Agregado en las mezclas asfálticas



Fuente: Ptolomeo.unam.mx

2.1.1.5 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. (Urrego & Ruiz Ramirez, 2016)

2.1.1.6 Por la Granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico. (Urrego & Ruiz Ramirez, 2016)

Tabla 2.1 Clasificación de Mezclas asfálticas

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frío
	En Tibio
	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	Granulometría
	Discontinuas

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Funcionalidad de las mezclas asfálticas

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

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

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

- La adherencia del neumático al firme.
- Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
- El desgaste de los neumáticos.
- El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
- La comodidad y estabilidad en marcha.
- Las cargas dinámicas del tráfico.
- La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
- El envejecimiento de los vehículos.
- Las propiedades ópticas. (Padilla Rodríguez)

2.1.3 Propiedades de las mezclas asfálticas

En las capas de rodadura el uso de agregados de alta calidad y de aditivos se justifica por las solicitaciones a que están sometidas. Actualmente la modificación de ligantes se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados

es absolutamente imprescindible, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

2.2 Componentes de las mezclas asfálticas

2.2.1 Cemento asfáltico

El asfalto es una mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y de minerales que mayormente es empleada para construir el pavimento de las calzadas. Sus características más destacadas son la viscosidad, su pegajosidad y su intenso color negro, de origen natural u obtenido artificialmente por destilación del petróleo. (Barrera Morales, Luna Mercado, & Patiño Alzate, 2017)

El cemento asfáltico 85/100, es un material asfáltico de uso vial. Es una combinación de compuestos orgánicos e hidrocarburos de alto peso molecular ($>C 25$), con cierto contenido de metales como Hierro, Níquel y Vanado, así como presencia de Azufre, Oxígeno y Nitrógeno. Se obtienen a partir de un proceso de desasfaltización por Propano a partir del Destilado Pesado de Petróleo.

Figura 2.6 Cemento Asfáltico



Fuente: Asfalto RABBI E.I.R.L.

2.2.1.1 Propiedades del cemento asfáltico

Las propiedades y características de los materiales asfálticos dependen de su estructura y composición química; pero dada su gran complejidad, estos materiales se caracterizan mediante ensayos empíricos para valorar las propiedades que tiene que poseer para emplearse como ligante en obra de carreteras.

Las propiedades fundamentales que tiene que poseer los asfaltos para su empleo en carretera son:

- **Carácter termoplástico:** por acción de la temperatura su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de "mojar" y envolver los áridos. Al enfriarse debe adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.
- **Buen comportamiento mecánico y reológico** para resistir las tensiones impuestas por el tráfico y poder mantener a las temperaturas de servicio, la estructura de la mezcla asfáltica.
- **Resistir al envejecimiento** frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo. Es decir, que las propiedades fundamentales que deben poseer los asfaltos para emplearse en carreteras son: adhesividad a los áridos, buen comportamiento reológico. (Coyo Quispe, 2019)

2.2.1.2 Ensayos realizados al asfalto para determinar propiedades del cemento asfáltico

2.2.1.2.1 Penetración

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración de materiales bituminosos sólidos y semisólidos. (ASTM D 5; AASHTO T49-97)

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas. (Coyo Quispe, 2019)

Equipos y materiales

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 $47,5 \pm 0,05$ g. El peso total de la aguja y el vástago será de $50,0 \pm 0,05$ g. Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensayo, se estipulan pesas de $50,0 \pm 0,05$ g y $100,0 \pm 0,05$ g.

La superficie sobre la que se apoya la cápsula que contiene la muestra será lisa y el eje del émbolo deberá estar aproximadamente a 90° de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.

Aguja de penetración

La aguja es de acero inoxidable templado y duro, grado 440-C o equivalente, HRC 54 a 60; debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 2,00 mm. Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre $8,7$ y $9,7^\circ$ con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja.

La aguja debe montarse en un casquete de metal no corrosivo, que tenga un diámetro de $3,2 \pm 0,05$ mm y una longitud de 38 ± 1 mm. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm. La aguja debe estar rígidamente montada en el

casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.

Cápsulas

Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

Para penetraciones bajo 200: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 35.

Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70.

Baño de agua

Tendrá una capacidad mínima de 10 l. y un sistema apto para mantenerla a temperatura a 25 °C, o cualquiera de ensayo, con una tolerancia de $\pm 0,1$ °C; tendrá, además; una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño.

Si el ensayo de penetración se realiza en el mismo baño, éste debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro. Para determinaciones a bajas temperaturas se puede utilizar una solución salina.

Transportador de cápsula

Debe tener una capacidad mínima de 50 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

Aparato medidor de tiempo

Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronómetro o cualquier dispositivo a cuerda, que esté graduado en 0,1 s o menos y cuya presión esté dentro de $\pm 0,1$ s para un intervalo de 60 s.

Termómetros

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error 0,1 °C, o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad.

Condiciones generales

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensayo, considere la temperatura, carga y tiempo, en 25 °C, 100 g y 5 s, respectivamente. Otras condiciones de temperatura, carga y tiempo pueden usarse en ensayos especiales.

Tabla 2.2 Condiciones para ensayos especiales

Temperatura (°C)	Carga (g)	Tiempo (s)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46.1	50	5

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

Extracción y preparación de la muestra

Calentar la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de 60 °C sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, o no más allá de 90 °C sobre el punto de ablandamiento para caso de asfaltos. No calentar la muestra por más de 30 min. y evitar la incorporación de burbujas en la muestra.

Verter la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensayo, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensayo.

Proteja la cápsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y déjela enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30 °C, entre 1 y 1,5 h para cápsula pequeña (90 ml) y 1,5 y 2 h,

para los más grandes (175 ml). Cuando utilice transportador de cápsula, coloque las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensayo.

Procedimiento

1. Examinar la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Limpie la aguja de penetración con tuoleno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifiquen otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de $100 \pm 0,1$ g.

Posicionar la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra.

2. Hacer un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y no a menos de 10 mm entre uno y otro. Si la penetración es mayor a 200, use mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

Precisión

Usar el siguiente criterio para juzgar si los resultados de penetración son aceptables para asfaltos a 25 °C.

Precisión para un solo operador: el coeficiente de variación determinado para un solo operador, es de 1,4 % para penetraciones sobre 60. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados por el mismo operador, con el mismo material de cualquier penetración y usando el mismo equipo, no deberían diferir uno del otro en más de 4 % de su media o 1 unidad en otros casos.

Precisión entre laboratorios: el coeficiente de variación encontrado entre laboratorios es de 3,8 % para penetraciones sobre 60. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados, con el mismo material de cualquier penetración y en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir uno del otro en más de 11 % de su media o 4 unidades en otros casos. En la Tabla se entregan los criterios para distintos casos:

2.2.1.2.2 Ductilidad

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud medida en cm., la cual se alarga antes de romperse, cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se tracciona a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de 25 °C y a una velocidad de 5 cm/min. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad. (ASTM D 113; AASHTO T51-00) (Coyo Quispe, 2019)

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de 25 ± 0.5 °C y a una velocidad de 5 cm/min ± 5 %. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

Equipos y materiales

Moldes

El molde, de bronce o zinc, debe ser similar en diseño al mostrado en Figura 2,16; los extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a', lados del molde. Cuando se arma el molde se obtiene la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican:

- Distancia entre los centros: 111,5 a 113,5 mm
- Largo total de la briqueta: 74,5 a 75,5 mm
- Distancia entre clips: 29,7 a 30,3 mm
- Borde del clip: 6,8 a 7,2 mm
- Radio del clip: 15,75 a 16,25 mm
- Ancho mínimo de la sección transversal: 9,9 a 10,1 mm
- Ancho de la boca del clip: 19,8 a 20,2 mm
- Distancia entre los centros de radio: 42,9 a 43,1 mm
- Diámetro del orificio del clip: 6,5 a 6,7 mm
- Espesor: 9,9 a 10,1 mm

Baño de agua

Mantener el baño a la temperatura de ensayo especificada, con una tolerancia de $\pm 0,1$ °C. El volumen mínimo de agua es de 10 l. Sumergir la muestra a una profundidad no menor que 10 cm y apoyar sobre una bandeja perforada, ubicada a no menos que 5 cm del fondo del baño.

Ductilímetro

Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se mantenga continuamente sumergida en agua, como se especificará en el procedimiento, al mismo tiempo que los clips se traccionan a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termo regulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia.

Termómetros

El termómetro por utilizar será ASTM 63C con un rango de temperatura entre -8 y 32 °C.

Procedimiento

1. Preparación del molde.

Armar el molde sobre una placa base; cubrir la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde con una película delgada de desmoldante para prevenir que el material por ensayar se adhiera. La placa sobre la cual y coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.

2. Moldeo de las muestras para el ensayo.

Calentar la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que esté suficientemente fluida para verter. Sin embargo, durante el calentamiento, la temperatura no debe exceder de 80 a 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Tamizar la muestra fundida a través del tamiz 0,3 mm (N° 50); luego continuar revolviendo y verter el material dentro del molde. Durante el llenado cuide no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briketa; verter con un chorro delgado hacia atrás y hacia adelante, de extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado.

Deje enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min y luego colocar en el baño de agua manteniendo a la temperatura de ensayo especificada por 30 min. Luego recortar el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

3. Conservación de las muestras a la temperatura de ensayo.

Colocar la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min a la temperatura especificada; luego quitar la briqueta de la placa, separe las partes a y a' e inmediatamente ensayo la briqueta.

4. Ensayo.

Enganchar los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro y sepárelos a la velocidad especificada hasta la ruptura de la briqueta; se permite una tolerancia de $\pm 5\%$ para la velocidad especificada. Medir la distancia en cm. entre los clips traccionados en el momento de producirse la ruptura. Durante el desarrollo del ensayo, el agua en el estanque del ductilímetro cubrirá la briqueta a lo menos 2,5 cm. y ésta se mantendrá continuamente a la temperatura especificada con una tolerancia de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Un ensayo normal es aquel en el cual el material entre dos clips se ha estirado hasta el punto de convertirse en un hilo y la ruptura ocurre en el punto donde el hilo no tiene prácticamente sección transversal. Informar el promedio de tres ensayos normales como la ductilidad de la muestra, indicando la temperatura del ensayo.

Si el material bituminoso llega a tener con la superficie del agua o el fondo del baño, el ensayo no será considerado normal. Se ajustará la densidad del agua del baño agregando alcohol metílico o cloruro de sodio de modo que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua ni toque el fondo del baño durante el ensayo.

Si no se lograra un ensayo normal en tres ensayos sucesivos en iguales condiciones, informar ductilidad como “no obtenible” bajo esas condiciones de ensayo.

Figura 2.7 Molde para ductilidad de muestra de ensayo



Fuente: Pinzuar.com

2.2.1.2.3 Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de Cleveland

El método define la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de los 70 °C determinado por medio de este método de ensayo. (ASTM D 1310-01; AASHTO T79-96) (Coyo Quispe, 2019).

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

Equipos y materiales

Copa Abierta de Cleveland

Consiste en una copa de ensayo, una placa de calentamiento, un aplicador de la llama, un calentador y apoyos.

Protector

Se recomienda un protector cuadrado de 460 mm y 610 mm de alto que tenga un frente abierto.

Preparación del aparato

Armar 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.

Lavar la copa de ensayo con un solvente apropiado y quite cualquier aceite o vestigios pegados o residuos remanentes de ensayos anteriores. Si hay depósitos de carbón remover con una esponja de acero. Limpiar la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y eliminar los últimos indicios de solvente y agua. Enfriar la copa por lo menos a 55 °C por debajo del Punto de Inflamación esperado antes de usarla.

Mantener 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.

Procedimiento.

1. Llenar la copa a una temperatura conveniente, no excediendo los 100 °C por encima de los 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 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 muestras que esté fuera del aparato, vacíe, limpie y vuelva a llenar. Destruya cualquier burbuja de aire sobre la superficie de la muestra.
2. La luz de la llama de prueba se ajusta a un diámetro de 3,00 a 5,00 mm y se compara con el tamaño del cabezal.
3. Aplicar calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba con 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, disminuir 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 minuto.

4. Comenzar, 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 ángulos 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 1s durante los últimos 17 °C, suba la temperatura previa al punto de inflamación. Evitar alteraciones del vapor en la copa de ensayo poniendo atención en movimientos descuidados o en aires suaves cercanos a la copa.

5. Informar 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.

6. Para determinar el punto de combustión continuar calentando de modo que la temperatura de la muestra se eleve a una razón de 5 a 6 °C por minuto. Continuar aplicando la llama a intervalos de 2 °C hasta que el material se inflame y continúe quemándose como mínimo 5 s. Informar la temperatura de este punto como el punto de combustión del material.

Corrección por presión barométrica

Si la presión barométrica real durante el tiempo de ensayo es menor que 715 mmHg, informar y sumar la corrección apropiada al punto de inflamación y punto de combustión de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Valores de corrección del punto de inflamación y de combustión

Presión barométrica (mm de mercurio)	Corrección (°C)
715-665	2
664-610	4
609-550	6

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

Cálculos

Corregir el punto de inflamación o el punto de combustión o ambos, de acuerdo con la presión barométrica.

Informar la corrección del punto de inflamación o punto de combustión o ambos, como el punto de inflamación o combustión de la copa abierta de Cleveland.

Precisión

Use los siguientes datos para juzgar la aceptabilidad de resultados (95 % confianza).

Repetibilidad

Resultados duplicados por el mismo operador serán considerados sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Punto de inflamación 8 °C.

Punto de combustión 8 °C.

Reproducibilidad

Resultados presentados por cada laboratorio, serán considerados sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Punto de inflamación 16 °C.

Punto de combustión 14 °C.

2.2.1.2.4 Viscosidad Saybolt Furol

Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60 °C, y de cementos asfálticos a 135 °C. (AASHTO T201; ASTM D 2170) (Coyo Quispe, 2019)

Este método describe el procedimiento para la medida empírica de la viscosidad Saybolt de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 20 y 100°C.

Nota 1. Un método fundamental y preferencial para medir viscosidad Cinemática, es el que se describe en A0108, Método para Determinar la Viscosidad Cinemática. Este método requiere muestras menores, menor tiempo y es de mayor exactitud.

Las viscosidades Saybolt Universal y Saybolt Furol, pueden obtenerse de los valores de la viscosidad cinemática usando las tablas de conversión que se incluyen en el Método A0314, Método para Convertir Viscosidad Cinemática a Saybolt Universal o Saybolt Furol.

El índice Saybolt Universal o viscosidad cinemática se refiere a índices de viscosidad calculados usando valores de la Saybolt Universal. La viscosidad Saybolt Furol de materiales bituminosos a altas temperaturas está especificada en la norma ASTM E 102.

Definiciones

Viscosidad Saybolt Universal

El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de mezcla que fluye a través de un orificio Universal, calibrado bajo condiciones especificadas.

Viscosidad Saybolt Furol

El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de muestra que fluye a través del orificio Furol, calibrado bajo condiciones especificadas. La viscosidad Furol es aproximadamente un décimo de la viscosidad Universal y se recomienda para productos del petróleo que tienen viscosidad mayor que 1000 s (Saybolt Universal) tales como combustible, aceites y otros materiales residuales. La palabra “Furol” es una contracción de fuel and road oils.

Tabla 2.4 Termómetros Astm Para Viscosidades Saybolt

ASTM Temperatura Normal de ensaye	Viscosidad Saybolt Rango de temperatura	Termómetros	
		Subdivisiones	Termómetros ASTM
°C	°C	°C	°C
21,1	19 - 27	0,1	17C
25	19 - 27	0,1	17C
37,8	34 - 42	0,1	18C
50	49 - 57	0,1	19C
54,4	49 - 57	0,1	19C
60	57 - 65	0,1	20C
82,2	79 - 87	0,1	21C
98,9	95 - 103	0,1	22C

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

Equipos y materiales

- Viscosímetro Saybolt con Baño.
- Tubo succionador.
- Soporte del termómetro.
- Aparato para poner el termómetro en el viscosímetro.
- Embudo filtro.
- Frasco recibidor.
- Cronómetro Graduado en décimas de segundo y con una exactitud de 0,1 seg cuando se ensaya sobre un intervalo de 60 min. Los cronómetros eléctricos son aceptables, si son operados sobre un circuito de frecuencia controlada.
- Termómetro Para leer la temperatura de ensaye de la muestra. El termómetro para viscosidad Saybolt ASTM se muestra y debe cumplir con lo especificado en la norma ASTM E 1.
- Termómetro para baño Termómetros de viscosidad o cualquier otro medio de exactitud equivalente.

Preparación de los aparatos

Use un orificio Universal para lubricantes y materiales destilados con tiempos de flujo mayores que 32 s para obtener la exactitud deseada. No es conveniente ensayar con estos orificios líquidos con tiempo de flujo sobre 1000 s.

Use el orificio Furol para materiales residuales con tiempo de flujo mayor que 25 s. El tiempo de flujo Furol es aproximadamente una décima parte del tiempo de flujo Universal.

Instale el viscosímetro con baño donde esté libre de corrientes de aire y rápidos cambios de temperatura; localícelo de modo que la muestra no se contamine con polvo o vapores durante el ensaye.

No debe determinar la viscosidad a temperaturas inferiores a la temperatura de condensación atmosférica de la sala. Temperaturas de la sala sobre los 38°C no introducen errores superiores al 1,0 %; para una normalización y ensayos de arbitraje mantenga la temperatura de la sala entre 20 y 30°C y regístrela.

Llene el baño hasta no menos de 6 mm por encima del borde de derrame del viscosímetro, recomienda el medio del baño por cada temperatura de ensaye.

Disponga un revolvedor adecuado y control térmico para el baño, de modo que la muestra no fluctúe en más de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ después de alcanzar la temperatura de ensaye.

Limpie el viscosímetro con un solvente efectivo no tóxico y quite todo el solvente del viscosímetro.

Calibración del Viscosímetro

Calibre el viscosímetro Saybolt Universal a intervalos no mayores que 3 años, midiendo el tiempo de flujo a 38°C de una viscosidad normal apropiada siguiendo el procedimiento dado en los numerales 23 a 29.

El tiempo de flujo debe ser igual al valor certificado de la viscosidad Saybolt; si el tiempo de flujo difiere del valor certificado por más de 0,2%, calcule el factor de corrección, F, para el viscosímetro, como sigue:

$$F = \frac{V}{t}$$

Donde:

V= Viscosidad Saybolt certificada.

T =Tiempo del flujo en segundos a 38°C.

Calibre el viscosímetro Saybolt Furol a 150°C de la misma manera como se hizo antes, usando una viscosidad normal teniendo un tiempo de flujo mínimo de 90 s.

Los viscosímetros u orificios que tienen correcciones superiores al 1,0 % no deben usarse para ensayos de arbitraje.

Procedimiento

Si la temperatura de ensaye está por encima de la temperatura de la sala, el ensaye puede acelerarse por precalentamiento de la muestra a no más que 1,6° C por sobre de la temperatura de ensaye.

Inserte un tapón de corcho, que tenga un cordel unido para quitarlo con facilidad, dentro de la cámara de aire, en el fondo del viscosímetro. El corcho debe encajar estrechamente, lo suficiente para prevenir el escape de aire; una evidencia es la ausencia del líquido por ensayar sobre el corcho cuando se retira.

Filtre la muestra preparada a través de una malla 0,150 mm, tamizando directamente dentro del viscosímetro hasta el nivel que está sobre el borde de derrame.

Revuelva la mezcla hasta que la temperatura permanezca constante dentro de 0,1°C de la temperatura de ensaye, revolviendo continuamente durante 1 min. Revuelva con el termómetro del viscosímetro puesto en un soporte. Use un movimiento circular de 30 a 50 rpm en el plano horizontal.

La viscosidad de aceites refinados del petróleo, aceites lubricantes negros, residuos combustibles y productos cerosos similares, puede ser afectada por la historia térmica previa. Los siguientes procedimientos de precalentamiento deben seguirse para obtener resultados uniformes para viscosidad bajo los 95°C. Para obtener una muestra representativa, caliente la muestra en el recipiente original, cercano a los 50°C,

revolviendo y agitándola. Sondee la parte inferior del recipiente con una varilla, para tener la certeza que todo el material ceroso está en solución. Vierta 100 ml dentro de un Erlenmeyer de 125 ml. Taponee sueltamente con un tapón de corcho o goma; sumerja el frasco en el baño con agua en ebullición por 30 min. Mezcle bien, quite la muestra del baño y tamice a través de una malla 0,075 mm directamente dentro del viscosímetro. Complete el ensaye de viscosidad dentro de 1 h después del precalentamiento.

Coloque el frasco receptor donde fluya el líquido desde el fondo del viscosímetro, de modo que apenas tope con el cuello del frasco. La marca de graduación estará entre 100 y 130 mm debajo del fondo del tubo del viscosímetro.

Suelte el corcho del viscosímetro usando el cordel; al mismo tiempo eche a andar el cronómetro. Pare el cronómetro en el instante que la parte inferior del menisco llegue a la marca de graduación. Informe el tiempo de flujo en segundos.

Cálculos

Multiplique el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro determinado en 20.

Precisión

Tabla 2.5 Precisión

Temperatura normal de ensaye	Máxima temperatura Medio del Baño Recomendado	Precisión de	
		diferencial (a)	Funcionamiento
°C	°C	°C	°C
21,1	Agua	± 0,06	± 0,03
25	Agua	± 0,06	± 0,03
37,8	Agua, o aceite de viscosidad 50-70 s SU a 38°C	0,14	± 0,03
50	Agua, o aceite de viscosidad 120-150 s SU a 38°C	0,19	± 0,03
54,4	Agua, o aceite de viscosidad 120-150 s SU a 38°C	0,28	± 0,03
60	Agua, o aceite de viscosidad 120-150 s SU a 38°C	0,56	± 0,06
82,2	Agua, o aceite de viscosidad 330-370 s SU a 38°C	0,83	± 0,06
98,9	Aceite de viscosidad 330 - 370 s SU a 38°C	1,11	± 0,06

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

Figura 2.8 Viscosímetro Saybolt con orificio Universal y Furol



Fuente: Normastest.com

2.2.1.2.5 Punto de ablandamiento

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

Generalidades

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados.

Definiciones

Punto de Ablandamiento

Es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en un baño de agua o de glicerina.

Equipos y materiales

Equipo Normal

Anillo de bronce que cumpla con las dimensiones que se muestran en la Figura 16

Bolas de acero con un diámetro de 9,5 mm y que pesen entre $3,50 \pm 0,050$ g.

Una guía para centrar la bola, construida de bronce, que tenga en general la forma y las dimensiones indicadas

Baño

Un vaso de vidrio de 800 ml, capaz de resistir el calor, que tenga un diámetro no menor que 85 mm y una profundidad no menor que 120 mm.

Soporte del Anillo

El anillo deberá estar sujeto sobre un soporte como se muestra en el conjunto.

Los anillos deberán sujetarse en posición horizontal, con el fondo a 25mm por encima de la superficie superior de la placa, y la superficie inferior de ésta a una distancia de por lo menos 13 mm y no mayor de 19 mm al fondo del vaso. La profundidad del líquido en el vaso deberá ser mayor que 100 mm.

El termómetro deberá suspenderse de manera que el fondo del bulbo esté a nivel con el fondo del anillo y dentro de 13 mm de distancia del anillo, pero de manera que no lo toque.

Termómetros

Termómetros del tipo ASTM para punto de ablandamiento bajo que tengan un rango de -2° a $+80^{\circ}\text{C}$ y cumplan con los requisitos para termómetro 15C, descritos en la norma ASTM E 1 y un ASTM 16C (rango 30 a 200°C) para puntos de ablandamientos altos.

Extracción y preparación de la muestra

Caliente con cuidado la muestra, agitándola continuamente para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que esté suficientemente fluida para verterla. En ningún caso la temperatura de la muestra debe exceder de 110°C por sobre del punto de ablandamiento estimado. Elimine las burbujas de aire incorporadas en la muestra mediante agitación continua.

Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de vertido, en un tiempo no mayor que 240 min; vierta la muestra caliente dentro de los dos anillos, precalentados aproximadamente a la temperatura de vertido. Mientras se llenan los anillos debe apoyarse sobre una placa de bronce, previamente recubierta con un agente desmoldante, para prevenir que el material bituminoso se adhiera a la placa. Enfríe por lo menos durante 30 min; en ningún caso deje transcurrir más de 4 h antes de terminar el ensaye. Las muestras que estén blandas a temperatura ambiente, se deben enfriar durante un mínimo de 30 min a una temperatura mínima de 8°C por debajo del punto de ablandamiento esperado.

Después de enfriado, corte el exceso de material con una espátula o cuchillo ligeramente caliente. En caso de que se repita el ensaye, utilice una muestra nueva y un recipiente limpio.

Procedimiento

Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento igual o menor que 80°C

Ensamble el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición y llene el baño con agua fresca destilada a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ a una profundidad no menor de 100 mm ni mayor de 110 mm. Mantenga la temperatura del baño a 5°C durante 15 min, colocando el recipiente del ensaye en agua helada, si es necesario. Utilizando unas pinzas, coloque una bola previamente ajustada a la misma temperatura del baño, en cada una de las guías de centraje de las bolas.

Aplique calor de tal manera que la temperatura del líquido aumente con una velocidad uniforme de 5°C por min; evite el efecto de las corrientes de aire, utilizando protectores si es necesario.

Nota 1: Para el calentamiento se permite el uso de un mechero de gas o un plato caliente eléctrico: Sin embargo, el plato eléctrico precisa tener un sistema para incrementar las temperaturas sin demora, para mantener la velocidad de calentamiento.

La velocidad de aumento de temperatura deberá ser uniforme y no se promediará durante el período del ensaye. La variación máxima permisible para cualquier minuto de tiempo,

después de los tres minutos, será $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Elimine todos los ensayos en los que la velocidad de aumento de temperatura no esté dentro de estos límites.

Anote para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro; en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior. Si la diferencia entre estos dos valores excede 1°C , repita el ensaye.

Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento mayor que 80°C

Utilice el mismo procedimiento descrito en 10, con las siguientes modificaciones:

Use glicerina en vez de agua.

La temperatura inicial del baño de glicerina será 32°C .

Precisión

El siguiente criterio se debe utilizar para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

Repetibilidad. La duplicidad del punto de ablandamiento obtenido por el mismo operador no se considerará dudoso a menos que difiera de ésta más de 1°C (desviación normal estimada 0,73%).

Reproducibilidad. Los puntos de ablandamiento informados por cada uno de dos laboratorios, no se considerarán dudosos a menos que los dos informes difieran en más de 2°C (desviación normal estimada 1,26%).

Figura 2.9 Anillo, Porta anillo, ensamble del aparato mostrando dos anillos



Fuente: Globalpy.com

2.2.1.2.6 Densidad

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso del picnómetro a la temperatura requerida. (ASTM D 71-94; AASHTO T229-97) (Coyo Quispe, 2019)

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

Equipos y materiales.

Picnómetro de 24 a 30 ml de capacidad.

Balanza analítica.

Baño termostático capaz de mantener la temperatura requerida en un rango $\pm 0,1$ °C.

Termómetro de -8 a 32 °C, con una precisión de 0,1 °C.

Agua destilada.

Calibración del picnómetro.

Determinar la masa del picnómetro limpio y seco con su tapa, y designarla como A, aproximando a 0,01 g.

Llenar el picnómetro con agua destilada y ajuste firmemente la tapa girándola. Sumergir totalmente el picnómetro en un vaso con agua destilada. Colocar el vaso con el picnómetro en el baño de agua de forma que el agua del baño quede al mismo nivel que el del vaso, mantener en el baño como mínimo 30 min a la temperatura de ensayo. Retirar el picnómetro y secar rápida y cuidadosamente toda humedad superficial, determinar la masa y designarla como B, aproximando a 0,01 grs.

Procedimiento para cementos asfálticos.

1. Calentar una pequeña cantidad de material hasta una condición fluida, mediante la aplicación de calor en forma suave; prevenir la pérdida por evaporación. Una vez que la muestra esté suficientemente fluida verter dentro del picnómetro, limpio y seco, hasta aproximadamente la mitad. Es conveniente calentar ligeramente el picnómetro antes de vaciar el material. Tomar precauciones para evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final, y evitar la inclusión de burbujas de aire, aplicando ligeramente la llama de un mechero a la superficie del picnómetro y del asfalto. Enfriar el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y determinar la masa con tapa incluida. Designar esta masa como C, aproximando a 0,01 g.

2. Terminar de llenar con agua destilada, insertar la tapa firmemente, sumergir completamente en un vaso lleno de agua destilada y colocar en el baño, de acuerdo a lo indicado en el inciso b. de la calibración del picnómetro, a la temperatura de ensayo por unos 30 min. Retirar el picnómetro del vaso y séquelo con un paño. Determinar la masa y designarla como D, aproximando a 0,01 g.

3. Determinar la densidad del asfalto de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\rho_b = C - \frac{A}{(B - A) - (D - C)} * \rho_w * 1000$$

Donde:

ρ_b = Densidad del asfalto a la temperatura de ensayo (kg/m).

ρ_w = Densidad del agua a la temperatura de ensayo (k/m).

a) Informe

El informe debe incluir:

La densidad, aproximada a 1 (kg/m³)

La temperatura de ensayo.

2.2.2 Agregados pétreos

Consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales (mezcla de varios tamaños de áridos y finos) que se mezclan juntos para formar la mezcla asfáltica o pavimento.

En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado. (Gargate Alva & Huamaní Sánchez, 2018)

2.2.2.1 Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas

2.2.2.1.1 Agregado grueso

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (No. 4). Para esta investigación debe ser procedente de trituración.

Tabla 2.6 Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso

Nº	Parámetro	Norma	Especificación
1	Abrasión de los Ángeles	AASHTO T 96	40,00 % máx.
2	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	12,00 % máx.
3	Caras fracturadas	ASTM D 5821	75,00 % min.

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente

2.2.2.1.2 Agregado fino

Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm (N^o4) y 75 mm (No. 200). El agregado fino deberá proceder de trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.

Tabla 2.7 Especificaciones que debe cumplir el agregado fino

Nº	Parámetro	Norma	Especificación
1	Índice de durabilidad (fino)	AASHTO T 210	35,00 % min.
2	Equivalente de arena	AASHTO T 176	45,00 % min.
3	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	12,00 % máx.

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente

Tabla 2.8 Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29

Graduación del agregado fino						
Tamaño de tamiz		Cantidad más fina que pasa cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), Masa %				
		Graduación Nº 1	Graduación Nº 2	Graduación Nº 3	Graduación Nº 4	Graduación Nº 5
3/8"	9,50 mm	100	.	.	100	100
Nº 4	4,75 mm	95 a 100	100	100	80 a 100	80 a 100
Nº 8	2,36 mm	70 a 100	75 a 100	95 a 100	65 a 100	65 a 100
Nº 16	1,18 mm	40 a 80	50 a 74	85 a 100	40 a 80	40 a 80
Nº 30	0,60 mm	20 a 65	28 a 52	65 a 90	20 a 65	20 a 65
Nº 50	0,30 mm	7 a 40	8 a 30	30 a 60	7 a 40	7 a 46
Nº 100	0,15 mm	2 a 20	0 a 12	5 a 25	2 a 20	2 a 30
Nº 200	0,075 mm	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 10	-

Fuente: Tabla 1 norma AASHTO M 29

2.2.2.2 Ensayos de caracterización de los agregados

El objetivo general del estudio es la caracterización morfológica de los agregados usados en las mezclas asfálticas y la estimación de la influencia en las propiedades de la mezcla asfáltica que son:

- Análisis granulométrico (ASTM D-422).
- Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D5821-95)
- Equivalente de la arena y finos (ASTM D 2419)
- Abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles (ASTM C-131)
- Peso específico de agregado fino (ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (ASTM D-127).

2.2.2.2.1 Granulometría

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Tabla 2.9 Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría

Designación de tamices			
Para Agregados gruesos		Para agregados finos	
Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano	Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano
63,00 mm	2 ½ plg	2,36 mm	Nº 8
50,00 mm	2 plg	1,18 mm	Nº 16
37,00 mm	1 ½ plg	0,60 mm	Nº 30
25,00 mm	1 plg	0,30 mm	Nº 50
19,00 mm	¾ plg	0,150 mm	Nº 100
12,50 mm	½ plg	0,075 mm	Nº 200
9,50 mm	3/8 plg		
4,75 mm	Nº 4		

Fuente: AASHTO

Equipo y materiales

Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente donde se va a pesar, la precisión debe de ser de 0.1 g para muestras menores que 1000 g y de 1 g para muestras mayores que 1000 g.

Tamices

Deben ser tejidos, de alambre, abertura cuadrada, tensados. Los tamaños nominales de las aberturas pertenecen a la serie que se indica en la Tabla.

Tabla 2.10 Serie de tamices

Tamaño nominal de abertura	
(mm)	ASTM
75	3"
63	2 1/2"
50	2"
37,5	1 1/2"
25	1"
19	3/4"
9,5	3/8"
4,75	N° 4
2	N° 10
0,425	N° 40
0,075	N° 200

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

Marcos

Metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Serán circulares, con diámetros de 200 mm y preferentemente de 300 mm para suelos gruesos.

Depósito receptor

Cada juego de tamices estará provisto de un depósito que ajuste perfectamente para la recepción del residuo más fino.

Tapa

Cada juego de tamices estará provisto de una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material y marcada con tres diámetros que formen ángulos de 60 ° entre sí.

Mortero

Con triturador de caucho para disgregar las partículas aglomeradas, sin reducir el tamaño de los granos individuales.

Preparación de la muestra

Homogeneizar cuidadosamente el total de la muestra de terreno en estado húmedo; luego reducir por cuarteo, para obtener, cuando esté seca, una cantidad de material de acuerdo al tamaño máximo absoluto. Luego soltar el fino adherido a la grava y arena, si es necesario con agua, y deshacer los terrones con los dedos. Secar la muestra obtenida hasta masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C; si se detecta presencia de materia orgánica, secar la muestra en el horno a 60 ± 5 °C.

Procedimiento

1. Pesar toda la muestra con aproximación a 1 g registrar como A.
2. Cortar todo el material en el tamiz correspondiente al Tamaño Máximo Absoluto especificado; determinar la masa de las fracciones sobre y bajo dicho tamaño con aproximación a 1 g y registrar como B y Z, respectivamente.
3. Medir y registrar el Tamaño Máximo Absoluto del material de la fracción B, determinar en el paso anterior.
4. Cortar todo el material registrado como Z en tamiz 4,75 (N° 4) y determinar las masas, con precisión a 1 g, de la fracción que pasó y de la que quedó retenida en dicho tamiz. Registrar como C y D respectivamente.
5. Colocar el material retenido de 5 mm (D) en un recipiente de lavado y agregar agua potable en cantidad suficiente para cubrir la muestra. Proceder a lavar el material siguiendo los siguientes pasos:

Agitar la muestra con el agua de modo de separar el material fino, dejándolo en suspensión o en disolución.

Vaciar inmediatamente el agua con el material fino (en suspensión o en disolución) de los tamices N° 4 (4,75 mm) y N° 200 (0,075 mm), dispuestos en forma decreciente.

Agregar nuevas cargas de agua y repetir la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.

Reunir el material retenido en los tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.

Secar el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Pesar y registrar la masa lavada y seca como D'.

6. Tamizar el material registrado como D' a través de la serie de tamices 150 mm (6"), 100 mm (4"), 50 mm (2"), 37,5 mm (1 ½"), 25 mm (1"), 19 mm (3/4"), 9,5 mm (3/8") y 4,75 mm (N° 4). Efectuar este tamizado en dos etapas; un tamizado inicial, que podrá ser manual o mecánico, y un tamizado final que deberá ser manual.

Tamizado inicial

Vaciar el material registrado como D' sobre el tamiz superior de la serie de tamices y cúbralo con la tapa y fondo.

Agitar el conjunto de tamices durante un lapso mínimo de 5 min.

Tamizado final

Retirar el primer tamiz provisto de depósito y tapa.

Sostener con las manos, manteniéndolo ligeramente inclinado.

Agitar con movimientos horizontales y verticales en forma combinada, girando el tamiz en forma intermitente. Esta operación debe durar al menos 1 min.

Pesar y registrar el material retenido sobre el tamiz.

Trasladar el material contenido en el depósito al tamiz siguiente.

Repetir las operaciones descritas en los pasos anteriores hasta completar todos los tamices.

Pesar y registrar la masa final del residuo contenido en el depósito.

7. Del material bajo 5 mm tomar por cuarteo una muestra de 500 a 1000 g, y registrar su masa como C'. Lavar cuidadosamente con agua potable el material sobre tamiz 0,075 mm (N° 200); vaciar en un bol el material retenido en tamiz 0,075 mm (N° 200) y secar hasta masa constante a 110 ± 5 °C.
8. Pesar y registrar el material lavado y seco como C", aproximando a 0,1 g.
9. Tamizar el material preparado de acuerdo a g., según procedimiento descrito en f., a través de la serie de tamices: 2 mm (N° 10), 0,425 mm (N° 40) y 0,075 mm (N° 200).

10. Determinar la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz 0,075 mm (N° 200), recogido en el depósito. Registrar como M_i, con aproximación a 0,1 g.
11. La suma de todas las masas no debe diferir en más de 3 % para el material bajo 5 mm, ni en más de 0,5 % para material sobre 5 mm, respecto de las masas registradas como C' y D', respectivamente. Caso contrario repetir ensayo.

Cálculos

Calcular el porcentaje de sobre tamaño, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$ST = \frac{B}{A} * 100(\%)$$

Donde:

B = Masa de material sobre el Tamaño Máximo Absoluto especificado

A = Masa de muestra total

Calcular el porcentaje retenido en el tamiz i del material sobre 4,75 mm, de acuerdo a la siguiente ecuación

$$Ri = \frac{Mi}{C + D} * 100(\%)$$

Donde:

M_i = Masa retenida en el tamiz i del material sobre 4,75 mm

C = Masa de la fracción bajo 4,75 mm.

D = Masa de la fracción bajo 4,75 mm.

$$Ri = C * \frac{Mi}{C(C + D)} * 100(\%)$$

Calcular el porcentaje retenido en el tamiz i del material bajo 4,75 mm, de acuerdo a la siguiente ecuación.

Donde:

M_i = Masa retenida en el tamiz i del material bajo 4,75 mm.

C = Masa de la fracción bajo 4,75 mm.

C' = Masa de muestra reducida por cuarteo de la fracción bajo 4,75mm

D = Masa de la fracción bajo 4,75 mm.

Expresar la granulometría como porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz, indicar como primero resultado el del menor tamiz en que pasa el 100%, y expresar el resultado para los siguientes tamices como la diferencia entre el porcentaje que pasa en el tamiz inmediatamente anterior al de cálculo y el retenido en el tamiz de cálculo. Aproximar los porcentajes que pasan al entero más cercano.

Los resultados de la granulometría pueden expresarse en forma gráfica en un sistema de coordenadas ortogonales; en las abscisas, a escala logarítmica, se indican las aberturas de los tamices y en las ordenadas, a escala lineal, los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz.

2.2.2.2.2 Densidad real, densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos y finos

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

Es aplicable a los áridos gruesos y finos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas. (AASHTO T85; AASHTO T84)

Árido grueso:

material árido retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4) en el caso de suelos y hormigones, y en el tamiz de 2,36 mm (N° 8) cuando se utiliza en asfaltos.

Huecos: espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

Poros: espacios vacíos interiores de una partícula de material árido

Poros accesible: poro permeable o abierto.

Poros inaccesible: poro impermeable o cerrado.

Densidad (ρ): Es el cociente entre la masa (m) y el volumen (v) de un material pétreo a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m.

Densidad real (ρ_R), es en la que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles a inaccesibles de esas partículas.

Densidad real del árido seco (ρ_{RS}), en la que se considera solamente la masa del árido seco.

Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT}), en la que se considera la masa del árido seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

Densidad neta (ρ_N), en la que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

Absorción de agua (α): masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

Árido seco: material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 h de secado a 110 ± 5 °C, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

Equipo y materiales

Balanza

De capacidad superior a la masa del canastillo porta muestra más la masa de la muestra de ensayo y una precisión mínima de 1 g.

Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

Canastillo porta muestra

De alambre de hacer inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4 l. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

Estanque

Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal que permita contener totalmente y con holgura el canastillo porta muestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

Recipientes

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensayo.

Extracción y preparación de la muestra

Tamaño de la muestra de ensayo

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

Preparación de la muestra

Se puede emplear el material proveniente del ensayo tamizado, debidamente homogeneizado.

Eliminar por tamizado las partículas inferiores a 2,36 mm en caso de asfaltos.

Secar la muestra hasta masa constante en un horno a 110 ± 5 °C.

Enfriar la muestra al aire a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.

Sumergir la muestra en agua a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.

Procedimiento

Efectuar las siguientes pesadas a la muestra de ensayo:

Retirar la muestra de agua y secar superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Secar individualmente las partículas mayores manteniendo el árido, ya secado superficialmente, cubierto por el paño hasta el momento de pesar, realizar todo en el menor tiempo posible.

Determinar inmediatamente la masa del pétreo saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registrar su valor como MSSS.

Colocar la muestra inmediatamente en el canastillo porta muestra

Sumergir el canastillo en agua de 20 ± 3 °C, por un período de al menos de 3 min.

Determinar la masa sumergida, aproximando a 1 g, registrar su valor como MSUM.

Retirar la muestra de canastillo y vaciar completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.

Secar la muestra hasta masa constante en un horno a 110 ± 5 °C

Enfriar la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.

Determinar la masa de la muestra seca, registrar su valor como MS.

Determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

Expresar las densidades en kg/m³, aproximando a 1 kg/m³. Expresar la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

Precisión

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

Igual o inferior que 20 g/m³ en la determinación de densidades.

Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

Agregado fino:

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

Es aplicable a los áridos finos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración d hormigones y obras asfálticas.

Equipo y materiales

Balanza

De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 1 g.

Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

Recipientes

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensayo

Matraz

Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensayo. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de $\pm 0,1$ ml, dicho volumen excederá a lo menos en un 50 % al volumen aparente de la muestra de pétreo fino. Es recomendable un matraz de 500 cm³ de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.

Molde

Con forma tronco-cónica, de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura, confeccionando con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0,8 mm.

Pistón

Es una varilla metálica, con unos de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 g.

Extracción y preparación de la muestra

Tamaño de la muestra de ensayo

Para cada ensayo se usará una cantidad de árido fino superior a 50 g, inferior a 500 g.

Preparación de la muestra de ensayo

Cortar el material retenido en el tamiz 2,36 mm

Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15 % de material retenido sobre 2,36 mm, considerar como un integral y determinar los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra.

Reducir por cuarteo, a una cantidad de árido de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.

Secar el árido en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Cubrir el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un período de 24 ± 4 h.

Procedimiento

1. Eliminar paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos; revolver la muestra de forma frecuente asegurando un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.
2. Colocar e molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llenar con el árido en condición suelta en una capa y enrasar.
3. Compactar con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie, en cada golpe dejar caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm del árido.
4. Remover todo el material sobrante en la superficie, levantar el molde verticalmente, si hay humedad libre la muestra conservará la forma del cono; en este caso eliminar el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento. Cuando al retirar el molde, el árido cae según su talud natural, será indicador que ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca, en ese momento obtener el tamaño de la muestra requerida, pesar y registrar.
5. Colocar la muestra en el matraz y cubrir con agua a una temperatura de 20 ± 3 °C, hasta alcanzar aproximadamente $2/3$ del volumen del matraz, luego agitarlo para eliminar burbujas de aire, golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano.
6. Dejar reposar durante 1 h manteniendo a una temperatura de 20 ± 3 °C, a continuación, llenar con agua a 20 ± 3 °C hasta la marca de calibración, agitar y dejar reposar un instante.
7. Medir y registrar la masa total del matraz con la muestra del ensayo y el agua (Mm).

8. Sacar la muestra del matraz, secar hasta masa constante en horno a 110 ± 5 °C, dejar enfriar a temperatura ambiente; determinar y registrar la masa de la muestra en condición seca (M_s).
9. Llenar el matraz solamente con agua a una temperatura 20 ± 3 °C hasta la marca de calibración. Medir y registrar la masa del matraz con agua (M_a).

Cálculos

Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT})

$$\rho_{RT} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_{SSS}}{M_a + M_{SSS} + M_m} * 1000$$

Densidad real del árido seco (ρ_{RS})

$$\rho_{RS} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_s}{M_a + M_{SSS} - M_m} * 1000$$

Densidad neta (ρ_N)

$$\rho_N \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_s}{M_a + M_s - M_m} * 1000$$

Absorción de agua (α)

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} * 1000$$

Donde:

ρ = Densidad (Kg/m^3)

α =Absorción (%)

M_m = Masa del matraz de la muestra más agua hasta la marca de calibración (g)

M_{SSS} = Masa del árido saturado superficialmente seco (g)

M_s = Masa del árido seco (g)

Expresión de resultados

La densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido fino se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensayo por separado de sus dos fracciones, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

Densidad de la integral:

$$\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{1}{100} * (\rho_r * P_r + \rho_p * P_p)$$

Absorción de agua de la integral:

$$\alpha (\%) = \frac{1}{100} * (\alpha_r * P_r + \alpha_p * P_p)$$

Donde:

ρ = Densidad (real o neta) de la integral (kg/m^3)

ρ_r = Densidad (real o neta) de la fracción retenida (kg/m^3)

ρ_p = Densidad (real o neta) de la fracción que pasa (kg/m^3)

P_r = Porcentaje en masa de la fracción retenida (%)

P_p = Porcentaje en masa de la fracción que pasa (%)

α = Absorción de agua de la integral (kg/m^3)

α_r = Absorción de agua de la fracción retenida (kg/m^3)

α_p = Absorción de agua de la fracción que pasa (kg/m^3)

Expresar las densidades en kg/m^3 , aproximando a 1 kg/m^3 , y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

Precisión

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

Igual o inferior que 20 g/m³ en la determinación de densidades.

Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

2.2.2.2.3 Equivalente de arena

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por el tamiz N° 4 (4,75 mm). (ASTM D 2419; AASHTO T176-00)

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (N° 4).

Probeta graduada

De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduado en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho (ver Figura 2.7)

Sifón

Compuesto por los siguientes elementos:

Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 de largo, con hilo en ambos extremos.

Un pie de bronce troncónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm.

Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.

Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificadas de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de $1 \text{ kg} \pm 5 \text{ g}$.

Medida

Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

Tamiz

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75 mm (N° 4).

Recipiente

Estando y de capacidad igual o mayor que 4 l para preparar el reactivo y la solución de ensayo.

Agitador mecánico

Con un desplazamiento horizontal de 200 ± 2 mm y una velocidad de agitación de 175 ± 2 ciclos/min

Herramientas y accesorios

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

Reactivos

Solución base

Componentes:

240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.

1.085 g de glicerina farmacéutica.

25 g de formaldehído (solución 40 % de volumen/volumen).

Preparación, disolver el cloruro de calcio en 1 litro de agua destilada y filtrar. Agregar la glicerina y el formaldehído a la solución, mezclar bien y diluir a 2 l con agua destilada.

Solución de ensayo

Tomar 22,5 ml de la solución base y diluir a 1 l con agua destilada

a) Condiciones generales

Lugar de ensayo: Debe estar libre de golpes o vibraciones que pueden alterar el periodo de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

b) Preparación de la muestra

Tamaño de la muestra de ensayo igual o mayor que 2000 g de material bajo 5 mm.

La muestra para cada ensayo debe ser igual a una medida llena enrasada (85 ± 5 ml).

Preparación de la muestra de ensayo

Tamizado

Pasar la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4,75 mm (N° 4); disgregar manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adherido capas de material arcilloso, remover secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido desecharse.

Reducción

Reducir por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

Secado

Secar hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, dejar enfriar a temperatura ambiente.

Procedimiento

1. Colocar la botella del sifón con la solución de ensayo a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
2. Sifonear la solución de ensayo en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.
3. Obtener por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
4. Llenar una medida, asentar el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo al menos 4 veces, enrasar y verter en la probeta.

5. Golpear firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
6. Dejar la probeta en reposo por un período de 10 min.
7. Colocar el tapón y soltar la arena del fondo inclinándolo y sacudiendo el tubo.
8. Agitar la probeta y su contenido ya sea de forma manual o mecánica.
9. Colocar la probeta sobre la mesa, destapar y lavar sus paredes interiores mediante el irrigador, introduciéndolo hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.
10. Retirar el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
11. Dejar sedimentar por un período de 20 min \pm 15 s; al pasar el tiempo determinado leer y registrar el nivel superior de la arcilla (Nt) aproximando al milímetro.
12. Introducir el pisón en la probeta y hacerlo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registrar el nivel superior de la arena (Na) aproximando al milímetro.

c) Cálculos

Calcular el equivalente de arena de acuerdo a la siguiente fórmula, aproximando al 1 %.

$$EA(\%) = \left(\frac{Na}{Nt} \right) * 100$$

Donde:

EA =Equivalente de arena (%)

Na = Nivel superior de la arena (mm)

Nt = Nivel superior de la arcilla (mm)

Calcular el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1 % superior.

d) Precisión

Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras

gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos; caso contrario repetir el ensayo con muestras gemelas.

Figura 2.10 Probeta graduada



Fuente: Wwww.utes

2.2.2.2.4 Desgaste mediante la máquina de los Ángeles

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, mediante la máquina de los Ángeles. (ASTM E 131; AASHTO T96-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.36 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, mediante la máquina de Los Ángeles.

Equipo y materiales

Máquina de Los Ángeles

Tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y de 510 ± 6 mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar una moto. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz N° 50 (0,3mm).

Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en 90 ± 3 mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1,25 m.

La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

Balanza

Con una capacidad superior a 10 kg y una precisión de 1 g.

Tamices

Deben cumplir con las especificaciones nombradas en el método de análisis granulométrico por tamizado, descrito anteriormente.

Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

Esferas (carga abrasiva)

Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g

Extracción y preparación de la muestra

Preparación

Determinar la granulometría de la muestra de acuerdo al Análisis granulométrico por tamizado, ya descrito.

Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que $2 D_n$ (D_n es el tamaño máximo nominal expresado en mm), y no menor que 50 kg para los grados 1 al 5 y 25 kg para los grados 6 y 7.

Acondicionamiento de la muestra de ensayo

Lavar la muestra y secar hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Tamizar la muestra usando los tamices de las siguientes aberturas: 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm y 2,36 mm. Dejar el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.

De la Tabla elegir el grado de ensayo que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sumar los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elegir para el ensayo el que entregue una mayor suma.

Procedimiento

1. Pesar los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, registrar la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra (m_i), aproximando a 1 g.
2. Colocar la masa inicial de material en la máquina de Los Ángeles y ensayar de acuerdo al grado elegido. Una vez terminado el número de revoluciones correspondiente, sacar el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones. Separar la carga abrasiva.
3. Efectuar un primer tamizado en un tamiz de 2,36 mm o superior, luego en un tamiz de 1,7 mm.
4. Reunir todo el material retenido en ambos tamices, lavar, secar hasta masa constante en horno a 100 ± 5 °C y dejar enfriar a temperatura ambiente. Pesar y registrar la masa del material retenido como masa final de la muestra (m_f), aproximando a 1 g.

Cálculos

Calcular el desgaste del árido como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$$

Donde:

P (%) = Pérdida de masa de la muestra (%)

m_i = Masa inicial de la muestra (g)

mf = Masa inicial de la muestra (g)

Tabla 2.11 Grados de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N° 4			2500±10	
N° 4	N° 8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		30	15	15	15

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

Figura 2.11 Máquina de los Ángeles



Fuente: JMRequpos.com

2.2.2.2.5 Caras fracturadas en los áridos

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso del material que presenta una o más caras fracturadas de las muestras de áridos. (ASTM D 5821)

Este método de prueba cubre la determinación del porcentaje de una muestra de agregado grueso (por masa o por conteo) que consiste de partículas fracturadas que cumplan requisitos especificados.

Equipo y materiales

Balanza

Una balanza o báscula con una exactitud y precisión dentro de 0.1 % de la masa de la muestra de prueba para cualquier punto dentro del rango de uso.

Mallas

Cuarveedor

Un cuarveedor de muestras apropiado para dividir la muestra de campo a porciones de prueba.

Espátula

Una espátula o herramienta similar para ayudar en la clasificación de las partículas de agregado.

Preparación de la muestra

Seque la muestra lo suficiente para obtener una separación limpia de agregado fino y grueso en la operación de cribado. Crible la muestra sobre la malla de 4,75 mm (N° 4), u otra malla especificada para obtener el material para esta prueba, luego reduzca la porción retenida en la malla a muestra de prueba apropiado usando un cuarveedor.

La masa de la muestra de prueba debe ser lo suficientemente grande de tal forma que la partícula más grande no sea más de 1 % de la masa de la muestra; o debe ser al menos en la cantidad indica abajo, lo que sea más pequeño:

Tabla 2.12 Masa mínima de la muestra de prueba

Tamaño nominal máximo abertura cuadrada		Masa mínima de la muestra de prueba	
mm	in	g	lb
9,5	3/8	200	0,5
12,5	1/2	500	1
10,0	3/4	1500	3
25,0	1	3000	6,5
3,5	1 1/2	7500	16,5
50,0	2	15000	33
63,0	2 1/2	30000	66
75,0	3	60000	132
90,0	3 1/2	90000	198

Fuente: Instituto Mexicano de Transporte

Para agregado con tamaño nominal máximo de 19,0 mm (3/4”) o mayor, donde el contenido de partículas fracturadas se va a determinar para el material retenido en la malla de 4,75 mm (N° 4) o una malla más pequeña, la muestra de prueba puede separarse sobre la malla de 9,5 mm (3/8”). La porción que pasa la malla de 9,5 mm (3/8”) puede ser reducida aún más, hasta un mínimo de 200 g (0,5 lb). Esto reducirá el número de partículas a ser separadas durante el procedimiento. En este caso, el porcentaje de partículas fracturadas se determina en cada fracción y se calcula un porcentaje promedio ponderado de partículas fracturadas con base en la masa de cada una de las fracciones para reflejar el porcentaje total de partículas fracturadas en la muestra completa.

Procedimiento

1. Lave la muestra sobre la malla designada para retirar cualquier material fino que quede, y seque hasta obtener una masa constante. Determine la masa de la muestra de prueba, y cualquier determinación subsecuente con una aproximación de 0,1 % de la masa seca de la muestra original.
2. Extender la muestra seca en una superficie plana limpia y suficientemente grande para permitir una inspección cuidadosa de cada una de las partículas. Para verificar que una

partícula cumple con los criterios de fractura, sostenga la partícula de manera que la cara sea vista directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto del área de la sección transversal máxima de la partícula de agregado, considérela una cara fracturada.

3. Usando la espátula o una herramienta similar separe en dos categorías: (1) partículas fracturadas en base a si la partícula tiene el número de caras fracturadas requerido, y (2) partículas que no cumplen el criterio especificado. Use las figuras para ayudarse en esta determinación. Nótese que algunas de las partículas en las figuras muestran más de una cara fracturada. Si el número de caras fracturadas no es dado en la especificación, la determinación se hará con base en un mínimo de una cara fracturada.
4. Determine la masa o número de partículas que no cumplan los criterios de fractura especificado. Use la masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas a menos que se especifique utilizar el porcentaje por conteo.
5. Si se especifica más de un número de caras fracturadas (por ejemplo, 70 % con una o más caras fracturadas y 40 % con dos o más caras fracturadas), repita el procedimiento en la misma muestra para cada uno de los requerimientos.

Cálculos

Reporte el porcentaje por masa o por conteo de partículas con el número especificado de caras fracturadas con una aproximación del 1 % de acuerdo con lo siguiente:

$$P = \frac{F}{F + N} * 100$$

Donde:

P = Porcentaje de partículas con el número de caras fracturadas especificado

F = Masa o conteo de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas

N = Masa o conteo de partículas en la categoría de que no cumple el criterio de partícula fracturada

Reporte el criterio de fractura especificado y el usado en la evaluación.

Reporte la masa total de la muestra de agregado grueso ensayado, en gramos.

Reporte la malla en la cual se retuvo la muestra de prueba.

2.2.2.2.6 Desintegración de sulfato de sodio

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

Este método se aplica a los áridos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas. (ASTM E 88; AASHTO T104-99)

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

Se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

Equipos y materiales

Balanzas

Balanza para áridos finos de capacidad superior a 500 g y una precisión de 0,1 g.

Balanza para áridos gruesos de capacidad superior a 5.000 g y una precisión de 0,1 g.

Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

Tamices

Emplee la misma serie de tamices especificados en el Método H0104.

Recipientes

Canastillos rígidos y químicamente inertes con las soluciones de ensaye. Las perforaciones deben permitir el libre acceso y drenaje de la solución sin pérdidas de material de la muestra.

Recipientes para solución, rígidos, estancos y químicamente inertes con las soluciones de ensaye. Serán de forma y tamaño tales que permitan contener los canastillos completamente sumergidos en la solución. Deben tener un dispositivo para regular la temperatura de la solución durante la inmersión.

Reactivos

Para cada operación se debe disponer de un volumen de solución igual o mayor a 5 veces el volumen aparente de la muestra.

Solución de sulfato de sodio. Disuelva aproximadamente 350g de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) o aproximadamente 750g de sulfato de sodio deshidratado ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) por litro de agua a una temperatura mayor a $25^\circ C$ y menor a $0^\circ C$. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ C$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso.

Al momento del empleo, la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1.151 y 1.174 a $20 \pm 3^\circ C$.

Solución de sulfato de magnesio. Disuelva 350 g de sulfato de magnesio anhidro ($MgSO_4$) o 1.400 g de sulfato de magnesio heptahidratado ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) por litro de agua a una temperatura mayor que $25^\circ C$ y menor que $30^\circ C$. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ C$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso.

Al momento de empleo la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,295 y 1,308 a $20 \pm 3^\circ C$

Extracción y preparación de la muestra

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos H0102 y H0101. Deben haberse ensayado previamente según Método H0104 a fin de determinar la granulometría.

Tamaño de la muestra de ensaye

Áridos fino

- Pase previamente por el tamiz de 9,5mm ($3/8''$) para hormigón y 4,75mm (N.º 4) para

asfalto. Cuando el material retenido exceda el 5% de la muestra, ensaye de acuerdo con 7.

- Prepare la muestra con el material que pasa por el tamiz de 9,5mm ($3/8''$) para hormigón y 4,75 mm (N.º 4) para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra.

Áridos grueso

- Pase previamente por el tamiz de 4,75mm (Nº 4) para hormigón y 2,36mm (Nº 8) para asfalto. Cuando el material que pasa exceda el 5 % de la muestra, ensaye de acuerdo con 6.
- Prepare la muestra con el material retenido en el tamiz de 4,75mm (Nº 4) para hormigón y 2,36 mm (Nº 8) para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla.

-

Tabla 2.13 Tamaño de la Muestra de ensayo de áridos fino

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

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

Tabla 2.14 Árido grueso

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de la subfracción (g)	Masa de fracción (g)
	50 - 63	3.000 ± 300	5.000 ± 300
1	37,5 - 50	2.000 ± 200	
2	25,0-37,5	1.000 ± 50	1.500 ± 50
	19-25,0	500 ± 30	
3	12,5 -19	670 ± 10	1.000 ± 10
	9,5 – 12,5	330 ± 5	
4	4,75-9,5	300 ± 5	300 ± 5
5	2,36-4,75	100 ± 5	100 ± 5

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

Tome los tamaños de muestra indicados en la Tabla H0114_1 considerando el porcentaje parcial retenido (Ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según Método H0104, en la forma siguiente:

Ensaye las fracciones indicadas siempre que el Ppr sea igual o mayor que 5%.

No ensaye las fracciones que tengan un Ppr menor que 5% (ver 19).

Si una subfracción de áridos grueso tiene un Ppr menor que 3%, componga la fracción con la subfracción que exista, siempre que ella tenga un Ppr igual o mayor a 3%.

Acondicionamiento de la muestra de ensayo.

Áridos fino

- Lave la muestra de ensayo sobre un tamiz de 0,3mm (N°50) o 0,15mm (N°100), para hormigón o asfalto, respectivamente,
- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tamice de modo de obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla 1
- Pese los tamaños de muestra requeridos para cada fracción y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 0,1 g.
- Coloque cada fracción en su canastillo.

Áridos grueso

- Lave la muestra de ensaye sobre un tamiz de 4,75mm (N°4) o 2,36mm (N° 8), según corresponda.
- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tamice de modo de obtener las subfracciones de muestra especificada
- Pese los tamaños de muestra requeridos para cada subfracción.
- Componga y pese las fracciones requeridas y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 1 g.
- Cuente y registre el número inicial de partículas (ni) de tamaño mayor a 19mm ($^{3/4}$).
- Coloque cada fracción en su canastillo.

Ciclos de inmersión y secado

- Sumerja los canastillos con las fracciones de muestra en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio a una temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por un período de 17 r 1 h, de modo que los áridos queden cubiertos por una capa de solución superior a 1,5 cm. Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar contaminaciones.
- Retire los canastillos con las fracciones de muestra de la solución; deje escurrir durante 15 r 5 min y seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Deje enfriar a temperatura ambiente.
- Repita 5 veces el ciclo de inmersión y secado.
- Terminado el número de ciclos y una vez enfriada la muestra, lave hasta eliminar totalmente el sulfato.
- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$; deje enfriar a temperatura ambiente. Cubra los canastillos para evitar absorciones o contaminaciones.
- Determine la masa final de las fracciones de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Áridos fino

- Tamice cada fracción de áridos fino en el tamiz en que fue retenida al iniciar el ensaye.

- Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 0,1 g.

Áridos grueso

- Tamice cada fracción de áridos grueso por el tamiz correspondiente.

Tabla 2.15 Serie de Tamices para el examen cuantitativo

Fracción	Tamaño de partículas de la fracción original (mm)	Tamices, tamaños nominales de abertura	
		ASTM	mm
1	37,5-68	1"	25
2	19-37,5	½"	12.5
3	9,5-19	¼"	6.3
4	4,75-9,5	Nº 8	2.36
5	2,36-4,75	Nº 10	2

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

- Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 1g.
- Examine cualitativamente y cuantitativamente las partículas mayores que 19mm (¾") como sigue:
- Observe y registre el efecto de la acción del sulfato (desintegración, agrietamiento, hendidura, exfoliación, desmoronamiento, etc.).
- Cuente y registre el número final de partículas (nf)

Cálculos

Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %.

$$P_N \frac{m_i - m_f}{m_i} * ppr$$

P_N = Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

m_i = Masa inicial de la fracción (g).

m_f = Masa final de la fracción (g).

ppr = Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

Para las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en 7 c), considere que tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.

Calcule la desintegración del árido fino o grueso, según corresponda, como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$P (\%) (P_1 + P_2 + \dots P_n)$$

Donde:

P = Porcentaje de pérdida de masa de la muestra (%)

P_n = Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%)

Calcule el porcentaje de partículas mayores que 19mm ($3/8$) afectadas por la acción del sulfato, según la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$A(\%) = \frac{n_i - n_f}{n_i} * 100$$

Donde:

A = Porcentaje de partículas mayores que 19 mm afectadas por la acción del sulfato (%).

n_i = Número inicial de partículas mayores que 19 mm.

n_f = Número final de partículas mayores que 19 mm

2.2.3 Filler

El filler consiste en material finamente dividido donde sus partículas pasan a través del tamiz 0,075 mm (N° 200), generalmente son provenientes de rocas, cal hidratada, cemento hidráulico, cenizas volantes u otro material adecuado.

El filler o llenante mineral es el material que es incorporado a las mezclas asfálticas con el fin de modificar sus propiedades mecánicas y complementar la fracción granulométrica, para generar una mezcla bien gradada y un mejor comportamiento de esta.

2.2.3.1 Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas

- Mejorar el cerrado de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto
- Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica
- Incrementar la durabilidad de la mezcla

2.2.3.2 Ensayos realizados al filler

- Granulometría del filler (ASTM D 246)
- Índice de plasticidad (ASTM D 4318; AASHTO T 90)

2.3 Método de diseño Marshall

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas. (Garnica Anguas, Delgado Alamilla, & Sandoval Sandoval, 2005)

Figura 2.12 Método MARSHALL



Fuente: Emesa M30

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

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. (Garnica Anguas, Delgado Alamilla, & Sandoval Sandoval, 2005)

2.3.1 Granulometría

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

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. La Tabla 2.1 presenta los tamaños máximos

nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515. (Garnica, Delgado Alamilla , Gómez López , Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Tabla 2.16 Gradaciones propuestas para mezclas cerradas (ASTM -D3515)

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

Fuente: Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas

2.3.2 Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se discutirán en este capítulo. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Tabla 2.3). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla. (Garnica, Delgado Alamilla , Gómez López , Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Tabla 2.17 Criterio de diseño de mezclas Marshall

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Criterio de mezcla	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad. (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	----	1200	----	1800	-----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas

Tabla 2.18 Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3	4	5
1,18	No.16	21,5	22,5	23,5
2,36	No.8	19,0	20,0	21,0
4,75	No.6	16,0	17,0	18,0
9,50	3/8.	14,0	15,0	16,0
12,50	1/2 .	13,0	14,0	15,0
19,00	3/4.	12,0	13,0	14,0
25,00	1.00	11,0	12,0	13,0
37,50	1.50	10,0	11,0	12,0

Fuente: Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas

2.3.3 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño

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

Cuando las mezclas de pruebas iniciales fallan con los criterios de diseño en cualquier contenido de asfalto seleccionado, será necesario modificar o, en algunos casos, rediseñar la mezcla. Para corregir una deficiencia, la manera más fácil de rediseñar una mezcla es cambiar la graduación de los agregados ajustando los porcentajes utilizados. Frecuentemente este ajuste es suficiente para cumplir con las especificaciones. Si el ajuste de los porcentajes no es suficiente, se deberán realizar serias consideraciones. (Garnica, Delgado Alamilla , Gómez López , Romero, & Alarcón Orta, 2004)

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

2.3.3.1 Vacíos bajos y estabilidad baja

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

Si el contenido de asfalto es más alto de lo normal y el exceso no es necesario para remplazar el absorbido por el agregado, entonces el contenido de asfalto deberá reducirse a fin de incrementar el porcentaje de vacíos, proveyendo un adecuado VMA. Se deberá recordar que disminuir el porcentaje de asfalto podrá tender a bajar la durabilidad del pavimento. Demasiada reducción en el contenido de asfalto puede ocasionar fracturación, oxidación acelerada e incremento de la permeabilidad. Si los ajustes anteriores no producen una mezcla estable, el agregado tendrá que cambiarse.

Es también posible mejorar la estabilidad e incrementar el contenido de vacíos en el agregado de la mezcla, mediante el incremento del agregado grueso o reducción de la cantidad de material que pasa la malla No. 200. Con la incorporación de arena procesada, el contenido de vacíos puede mejorarse sin sacrificar la estabilidad de la mezcla.

2.3.3.2 Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria

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

Por su parte, insuficientes vacíos pueden ser producto de la cantidad requerida de asfalto para obtener una durabilidad alta en mezclas finas; sin embargo, la estabilidad es inicialmente satisfactoria por el tránsito específico. Una degradación de agregado pobre durante la producción de la mezcla y/o bajo la acción de tránsito puede ocasionar subsecuentemente inestabilidad y flujo si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente. Por estas razones, mezclas con vacíos bajos tendrán que ajustarse por uno de

los métodos dados, en el inciso anterior sin importar que la estabilidad inicial sea satisfactoria.

2.3.3.3 Vacíos satisfactorios y estabilidad baja

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

2.3.3.4 Vacíos altos y estabilidad satisfactoria

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

2.3.3.5 Vacíos altos y estabilidad baja

Se deberán tomar en cuenta dos pasos para este tipo de condiciones; el primero es ajustar el volumen de vacíos mediante los métodos discutidos en los puntos anteriores; y en el segundo, si los ajustes no mejoran la estabilidad, deberá hacer una consideración de la calidad de los materiales (Garnica, Delgado Alamilla , Gómez López , Romero, & Alarcón Orta, 2004)

2.3.4 Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas

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

2.3.4.1 Determinación de la gravedad específica

La prueba de gravedad específica puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado en un cuarto de temperatura. Esta prueba se desarrolla de acuerdo con la Norma ASTM D1188, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas empleando parafina; o ASTM D2726, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas utilizando superficies saturadas de especímenes secos.

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

2.3.4.2 Prueba de estabilidad y flujo

Después de que la gravedad específica se ha determinado, se desarrolla la prueba de estabilidad y flujo, que consiste en sumergir el espécimen en un baño María a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

Con el equipo de prueba listo, se removerá el espécimen de prueba del baño María y cuidadosamente se secará la superficie. Colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procederá a colocar la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga.

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

Mientras que la prueba de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga

empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0,25 mm (1/100 “) será el valor del flujo Marshall.

2.3.4.3 Análisis de densidad y vacíos

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

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

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (Va); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA). (Garnica, Delgado Alamilla , Gómez López , Romero, & Alarcón Orta, 2004)

2.4 Mezclas asfálticas modificadas

2.4.1 Asfaltos modificados para fabricación de mezclas asfálticas

Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación de un aditivo modificador (polímero o no polímero), que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades como: susceptibilidad a la temperatura, intervalo de plasticidad, cohesión, respuesta elástica, resistencia al agua y al envejecimiento. Los modificadores aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos como la fatiga; reducen el agrietamiento, la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de la temperatura. Estos modificadores son adicionados al asfalto antes de mezclarlos con el material pétreo. (Heshmat, 1997)

2.4.2 Características de las Mezclas Modificadas

Por lo general, las mezclas asfálticas, son analizadas en laboratorios, y con esto se pretende determinar el desempeño de la estructura diseñada, este está dado principalmente a analizar el comportamiento de la mezcla y se analizan las siguientes características (Henaó, 2021)

2.4.2.1 Densidad

Esta dado que por el peso que tiene un volumen específico, es de suma importancia debido a que este factor interviene en un diseño de mezcla eficiente y duradero en el tiempo.

2.4.2.2 Vacíos

Son los espacios de aire entre las partículas de agregado de una mezcla incluyendo los espacios que contienen asfalto

2.4.2.3 Vacíos en los agregados

Son los espacios de aire entre las partículas de agregado de una mezcla incluyendo los espacios que contienen asfalto

2.4.2.4 Contenido de asfalto

Se condiciona debido a las características del agregado. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. (Henaó, 2021)

2.5 Pavimentos flexibles

Se denomina pavimento flexible a aquel cuya estructura total se flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como pueden ser vías, aceras o parkings. Los pavimentos asfálticos o flexibles son aquéllos construidos con materiales asfálticos y materiales granulares. Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede

prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

2.5.1 Características de pavimentos flexibles

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- Resistencia estructural.
- Deformabilidad.
- Durabilidad.
- Costo.
- Requerimientos de conservación.
- Comodidad.

Resistencia estructural

La metodología para el análisis de la resistencia de un pavimento es proporcionada por la mecánica de suelos y es sabido, que, en ese campo, las teorías de falla de mayor aceptación por hoy son las del esfuerzo cortante; como consecuencia, en el estudio de los pavimentos flexibles suele considerarse a los mismos esfuerzos como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural.

Las teorías de capacidad de carga de la mecánica de suelos suelen referirse a medios homogéneos e isotrópicos; la heterogeneidad de la estructura del pavimento flexible, así como su anisotropía, conducen a una primera incertidumbre en el planteamiento teórico de resistencia.

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los producidos por la aceleración, drenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura.

En resumen, la resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde dos puntos de vista:

- a) En cuanto a la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.
- b) En cuanto a la capacidad de carga de la capa sub-rasante, que constituye el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir, a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes.

Deformabilidad

En los pavimentos las deformaciones interesan como es usual en la ingeniería, desde dos puntos de vista; Por un lado, porque las deformaciones excesivas están asociadas a estado de falla, y, por otro lado, porque es sabido que en un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho.

Las cargas de tránsito producen en el pavimento deformaciones de varias clases. Las elásticas son de recuperación instantánea y las plásticas que son aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora.

La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en los materiales con resistencia a la tensión, colocados en la parte superior de la estructura, en los que puede llegar a generar falla por fatiga si el monto de la deformación es importante y los materiales susceptibles.

Durabilidad

La durabilidad está ligada con una serie de factores económicos y sociales del propio camino. En un camino de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

Una vez fijado el criterio que proporciona la duración deseada en el pavimento, surgen muchas incertidumbres de carácter práctico para lograrla; el efecto del clima y del tránsito dista de estar bien establecido, de manera que su influencia en la vida del pavimento no puede definirse con exactitud.

Costo

Como toda estructura ingenieril, un pavimento representa el balance entre la satisfacción de requisitos de resistencia y estabilidad en general por un lado y el costo, por otro. Un diseño correcto será el que llegue a satisfacer los necesarios requerimientos del servicio a costo mínimo. Naturalmente para lograr el equilibrio podrán seguirse una gran cantidad de posibles líneas de conducta y de aquí emana uno de los aspectos de diseño más inciertos y de los que demandan mayor criterio.

Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, pero una conservación más rigurosa.

Requerimientos de conservación

Los factores climáticos influyen de gran manera en la vida de un pavimento. Otro factor es la intensidad del tránsito, ya que se tiene que prever el crecimiento futuro.

Se debe de tomar en cuenta el comportamiento futuro de las terracerías, deformaciones y derrumbes. La degradación estructural de los materiales por carga repetida es otro aspecto que no se puede dejar de lado.

La falta de conservación sistemática hace que la vida de un pavimento se acorte.

Comodidad

Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto.

La seguridad es muy importante al igual que la estética. (Rico y Del Castillo,1984)

2.5.2 Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la parte superior de un pavimento flexible. Es una capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base. (Olivera, 1994) cita que los materiales pétreos son suelos inertes que se consiguen en ríos, arroyos o depósitos naturales.

Para poder ser empleados en la carpeta asfáltica deben cumplir con ciertas características dadas por la granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad. Se recomienda que las partículas que se utilicen tengan forma esférica, ya que las que son en forma de laja o de aguja pueden romperse muy fácilmente y afectar la granulometría. Las funciones de la carpeta asfáltica son las siguientes:

- Proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos.
- Impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores.
- Resistir la acción de los vehículos.

2.5.3 Fallas en los pavimentos flexibles

Según Rico y Del Castillo (1984), la tecnología que se ha desarrollado para pavimentos, tiene como meta evitar deterioros y fallas. Se han logrado establecer relaciones de causa - efecto, para desarrollar normas de criterio de proyecto y conservación. En pavimentos, la palabra falla se utiliza tanto para verdaderos colapsos como deterioros simples. El concepto de deterioro o falla está asociado al nivel de servicio que depende de la exigencia del consumidor. Una falla es algo que se aparta de lo que se consideró perfecto. Las fallas de los pavimentos pueden dividirse en tres grupos:

2.5.3.1 Falla por insuficiencia estructural

Pavimentos contruidos con material inapropiado en cuanto a resistencia. Se pueden utilizar materiales con buena calidad, pero espesores insuficientes. Esta falla se produce por la combinación de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y sus espesores.

2.5.3.2 Falla por defectos constructivos

Pavimentos bien proporcionados y con materiales de buena calidad pero que en su construcción se cometieron errores.

2.5.3.3 Falla por fatiga

Pavimentos que originalmente estuvieron bien proporcionados y contruidos, con el paso del tiempo y la continua repetición de cargas sufren efectos de fatiga, degradación estructural pérdida de resistencia y acumulan deformaciones.

Aparte de estos tres grupos, también se agrupan por su origen, es decir por el modo en que suceden y se manifiestan. Se separan en tres nuevos grupos que son: por fracturamiento, por deformación y por desintegración. Se relacionan con el efecto del tránsito, las características y estructuración del pavimento y el apoyo que proporciona la terracería. Las fallas por insuficiencia estructural, defecto constructivo o fatiga pueden ser a fin de cuentas causadas por el fracturamiento, la deformación y la desintegración (Castillo, 1984).

2.5.4 Fallas comunes en los pavimentos

Existen distintas fallas comunes en los pavimentos, entre ellas, se encuentra el agrietamiento en “piel de cocodrilo”, de formación permanente en la superficie del pavimento, fallas por cortante, agrietamiento longitudinal, consolidación del terreno de cimentación.

2.5.4.1 Agrietamiento en “Piel de cocodrilo”

Es un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento. Se da por el movimiento excesivo de una o más capas del pavimento o por fatiga de la carpeta. Es común en pavimentos contruidos en terracerías resilientes.

Es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas. Puede formarse en lugares donde existe el congelamiento o en lugares que se requiere subdrenaje. Este fenómeno puede ser progresivo generando la destrucción del pavimento, que comienza por desprenderse de la carpeta y la remoción de los materiales granulares expuestos. Es importante estudiar la causa, ya que si es por fatiga el progreso es muy lento, en cambio sí es por deficiencia estructural o por exceso de agua el progreso es muy rápido.

2.5.4.2 Deformación permanente en la superficie del pavimento

De acuerdo con Rico y Del Castillo (1984), la deformación permanente en la superficie del pavimento está asociada al aumento de compacidad en las capas de base o sub-base, debida a

cargas excesivas, cargas repetidas o rotura de granos. También puede darse por consolidación en la sub-rasante. Por lo general, el ancho del surco es mayor al ancho de una llanta.

2.5.4.3 Fallas por cortante

Se debe a la falta de resistencia al esfuerzo cortante de la base o sub - base. En rara ocasión por falta de resistencia en la sub-rasante. Generalmente se hacen surcos profundos y bien marcados cuyo ancho no excede al de una llanta

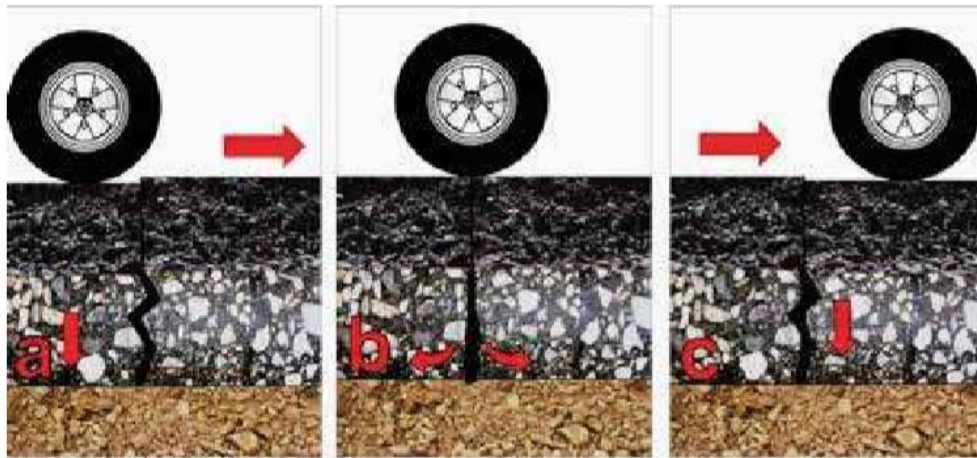
2.5.4.3.1 Agrietamiento longitudinal

Grietas longitudinales de una abertura aproximada de 0,5 cm. en el área de circulación de las cargas más pesadas. Se debe a movimientos en las capas del pavimento en dirección horizontal. Este fenómeno, se da en la base, en la sub-base y con regularidad en la sub-rasante. El fenómeno se da por congelamiento, deshielo o por cambios volumétricos en la variación de agua en la sub-rasante.

2.6 Geomalla fortgrid asphalt 160

Por su resistencia a la carga cíclica, a las altas temperaturas y bajo daño de instalación, las geomallas **FORTGRID ASPHALT** constituyen una alternativa avanzada para el refuerzo de sobrecapas asfálticas. Su mayor resistencia a la carga cíclica permite obtener una mejora sensible en la resistencia ala agrietamiento y demás, su balance entre área abierta y resistencia, ofrecen una alta resistencia al corte (adherencia) en la interface que garantiza alcanzar los resultados para la vida útil de las sobrecapas.

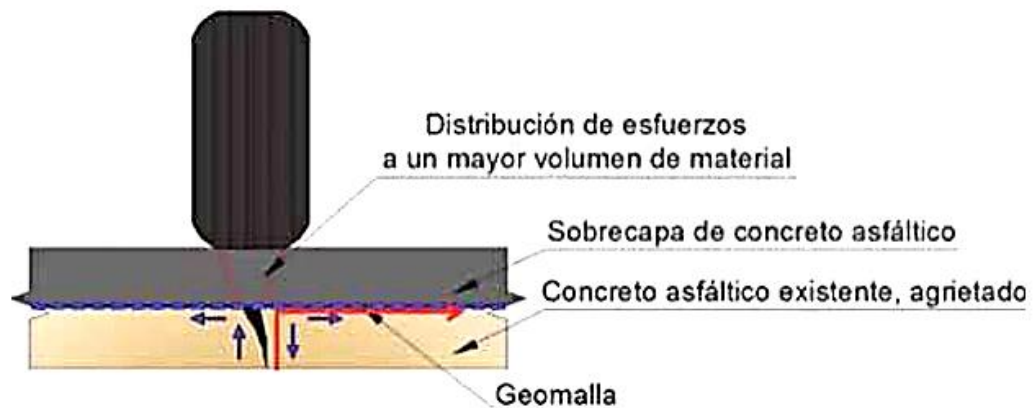
Figura 2.13 Esfuerzos de tensión y corte en los agrietamientos



Fuente GEOMATRIX

La geomalla FORTGRID® ASPHALT refuerza el plano inferior de la sobrecapa asfáltica permitiendo el contacto directo de los materiales a través de sus aberturas, con lo cual las capas asfálticas quedan estructuralmente ligadas y reforzadas. Este efecto reorienta la trayectoria de los esfuerzos cortantes y distribuye el esfuerzo sobre una mayor masa de material, como se aprecia en la Figura 2.14.

Figura 2.14 Efecto mecánico del esfuerzo



Fuente GEOMATRIX

2.6.1 Beneficios de la geomalla fortgrid asphalt 160

Las investigaciones realizadas muestran que las sobrecapas asfálticas reforzadas incrementan hasta en 7 veces la cantidad de repeticiones de carga en comparación con sobrecapas no reforzadas.

- Aumentan la vida de fatiga de las capas asfálticas al aportar una permanente capacidad de recuperación elástica a lo largo del periodo de servicio.
- Absorben los esfuerzos horizontales de tensión que ocurren en el plano inferior de la capa asfáltica.
- Aumentan la resistencia de las capas asfálticas al ahuellamiento [rutting].
- Reorientan y distribuyen los esfuerzos cortantes que ocurren en pavimentos con capas asfálticas agrietadas, bases estabilizadas agrietadas, presencia de excavaciones para redes de servicios públicos o juntas de ampliación, evitando su reflejo hacia las sobrecapas asfálticas.
- Soportan las altas temperaturas. Su punto de ablandamiento de 240° C es adecuado para el refuerzo de capas de concreto asfáltico preparado en caliente, inclusive con asfaltos modificados.
- Por su alta resistencia a la tensión y flexibilidad, toleran las maniobras del equipo de construcción sobre ellas sin sufrir daños significativos.
- Sus fibras e intersecciones admiten la presión del agregado durante la compactación y son suficientemente fuertes y estables para interactuar con las partículas a través de sus aberturas sin deteriorarse.
- Disponibles en rollos de 3.8 o 5.3 m de ancho que se ajustan a los requerimientos de proyectos viales o aeroportuarios, garantizando rendimiento en la instalación con menor cantidad de juntas en comparación con otros materiales del mercado.

2.6.2 Aumento de la resistencia al reflejo de agrietamientos

Las investigaciones realizadas por Walubita en el Texas Transportation Institute TTI en Texas A&M University demuestran su alta capacidad para aumentar la

vida útil de las sobrecapas asfálticas. Su factor de eficiencia GEF que determina el número de veces en que se aumentan las repeticiones de carga para alcanzar la falla, supera amplia mente la oferta de otras geomallas.

2.6.3 Alta resistencia al corte en la interface

El Optimo balance de resistencia y área abierta, logra una excelente interacción que supera en al menos 1,5 veces la resistencia al corte [adherencia] en la interfase, frente a otras geomallas

2.6.4 Criterio de selección de la geomalla

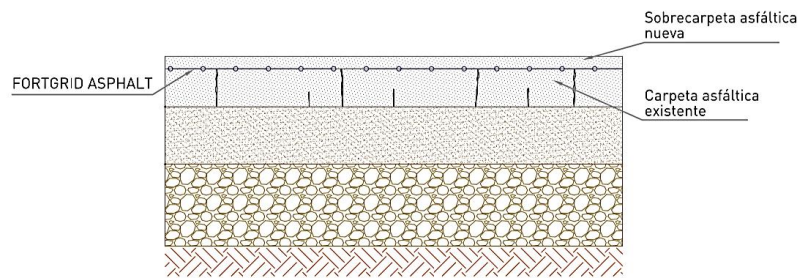
Como Guía general de uso se recomienda seguir el siguiente criterio en función del Factor de Eficiencia requerido para su proyecto.

Tabla 2.19 Factor de Eficiencia requerido

GEOMALLA	Factor de eficiencia de la Geomalla (GEF) sugerido
FORTGRID ASPHALT 140	1,4
FORTGRID ASPHALT 160	1,6
FORTGRID ASPHALT 300	3,2
FORTGRID ASPHALT 700	70

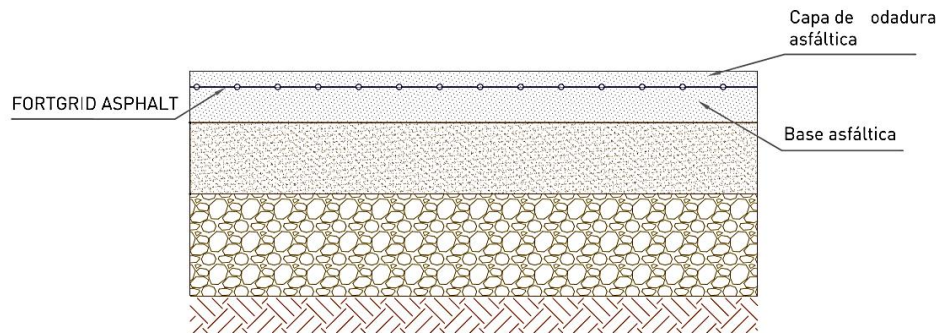
Fuente GEOMATRIX

Figura 2.15 Refuerzo de capas asfálticas para control del reflejo de agrietamientos en trabajos de mantenimiento en vías y aeropuertos.



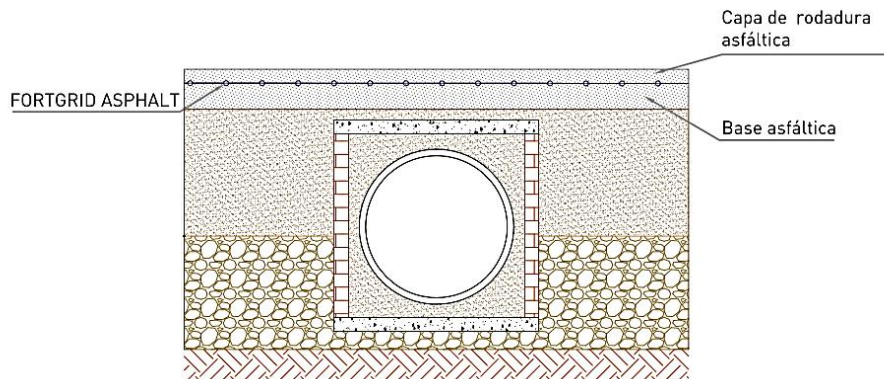
Fuente GEOMATRIX

Figura 2.16 Refuerzo de capas asfálticas para aumento de su vida útil.



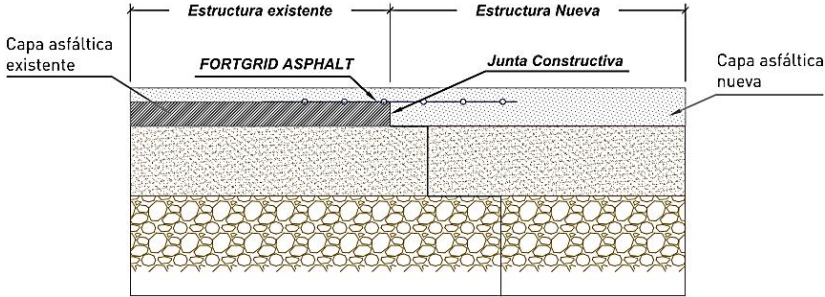
Fuente GEOMATRIX

Figura 2.17 Refuerzo de capas asfálticas para control de agrietamientos por excavaciones para redes de servicios públicos.



Fuente GEOMATRIX

Figura 2.18 Refuerzo de capas asfálticas para control de agrietamientos por juntas de ampliación de banca



Fuente GEOMATRIX

CAPÍTULO III
ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS
ASFALTICAS

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1 Selección de materiales

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes, además de tener una disponibilidad.

3.1.1 Material pétreo

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales para la realización de mezclas asfálticas, en los cuales nos proporciona una seguridad para el diseño que se realice, pero para la presente investigación se utilizara los materiales de grava, gravilla y filler procedentes del rio Guadalquivir, Zona el Temporal siendo triturados por la Chancadora Concasbal.

Se escogieron los siguientes materiales: agregado grueso de 3/4", agregado intermedio de 3/8" y agregado fino.

3.1.2 Ubicación geográfica

Las coordenadas geográficas de la Chancadora Concasbal son:

Latitud: 21°35'19"S

Longitud: 64°41'02"W

Altura: 1.808 m.

Figura 3.1 Ubicación de la Chancadora Concasbal



Fuente: Google earth

3.1.3 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a usar provisionado de la planta asfáltica CIBER ubicado en la comunidad de La Pintada pertenece a la Posta Municipal de Tarija, la cual nos doto de este material. El cemento es convencional 85/100 de procedencia MULTINSA-COLOMBIA fue.

3.1.4 Ubicación geográfica

Las coordenadas geográficas de la entrada de la Posta Municipal de Tarija son:

Latitud: 21°31'34"S

Longitud: 64°44'25"W1

Altura:1.880 m.

Figura 3.2 Ubicación de la Posta Municipal de Tarija



Fuente: Google earth

3.2 Caracterización de los agregados

3.2.1 Análisis granulométrico por tamizado

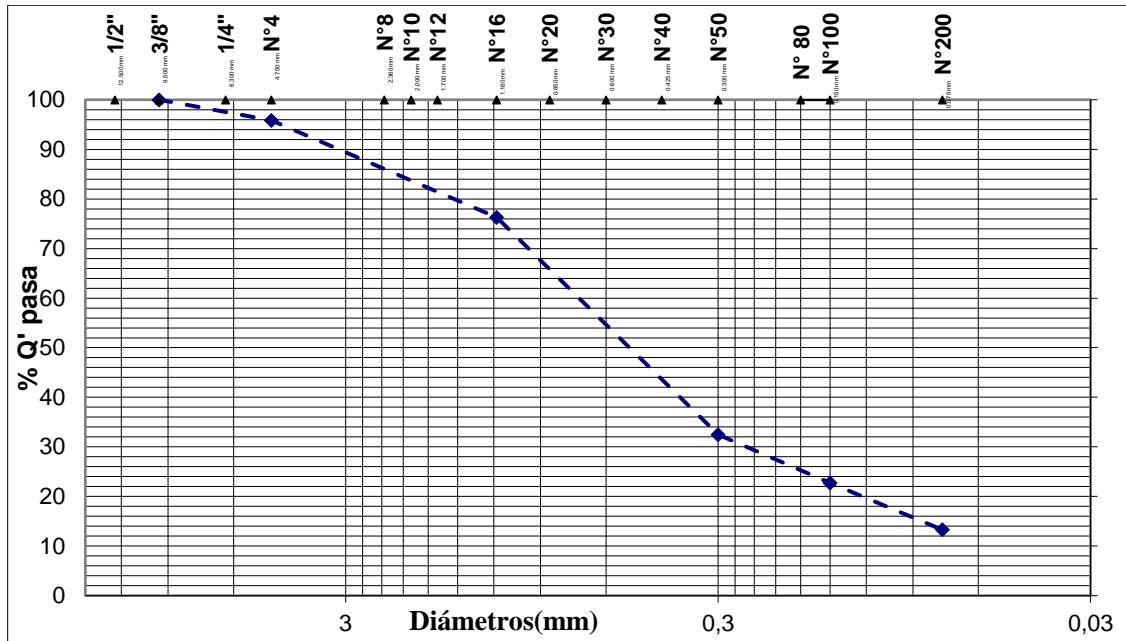
Se denomina granulometría a la distribución por tamaños de las partículas de un árido. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de árido se separan estos mediante cedazos o tamices.

Tabla 3.1 Granulometría agregado fino

Granulometría agregado fino arena							
TAMIZ	Peso ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total		
		grs	%				
2"	0	0	0,0	50,80			100,0
1 1/2"	0	0	0,0	38,10			100,0
1"	0	0	0,0	25,40			100,0
3/4"	0	0	0,0	19,10			100,0
1/2"	0	0	0,0	12,70			100,0
3/8"	0	0	0,0	9,50			100,0
Nº 4	206,5	206,5	4,1	4,75			95,9
Nº 8	485	691,5	13,8	2,36			86,2
Nº 16	495,3	1186,8	23,7	1,18			76,3
Nº 30	1435,4	2622,2	52,4	0,60			47,6
Nº 50	753,7	3375,9	67,5	0,30			32,5
Nº 100	488,6	3864,5	77,3	0,15			22,7
Nº 200	471,3	4335,8	86,7	0,075			13,3

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.1 Granulometría agregado fino



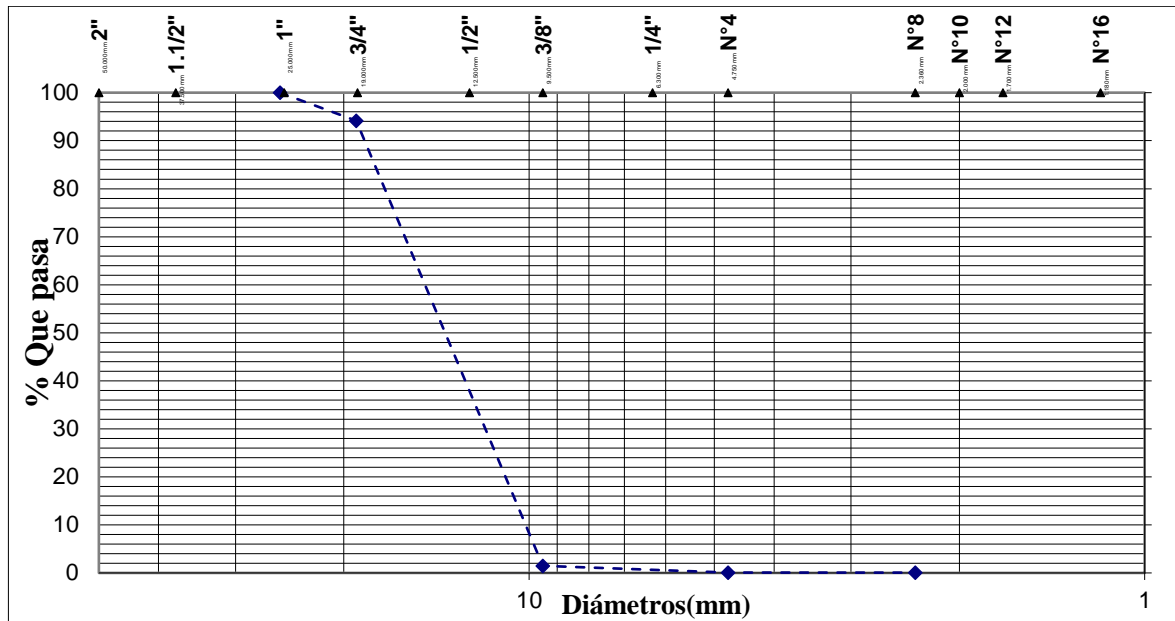
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Granulometría agregado grueso

Granulometría agregado grueso grava							
TAMIZ	Peso ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.		% que pasa del total	
		grs	%				
2"	0	0	0,0	50,80			100,0
1 1/2"	0	0	0,0	38,10			100,0
1"	0	0	0,0	25,40			100,0
3/4"	290,8	290,8	5,8	19,10			94,2
1/2"	3456,1	3746,9	74,9	12,70			25,1
3/8"	1180,3	4927,2	98,5	9,50			1,5
Nº 4	67,9	4995,1	99,9	4,75			0,1
Nº 8	4,9	4997	99,9	2,36			0,1
Nº 16	0	4997	99,9	1,18			0,1
Nº 30	0	4997	99,9	0,60			0,1
Nº 50	0	4997	99,9	0,30			0,1
Nº 100	0	4997	99,9	0,15			0,1
Nº 200	0	4997	99,9	0,075			0,1

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.2 Granulometría agregado grueso



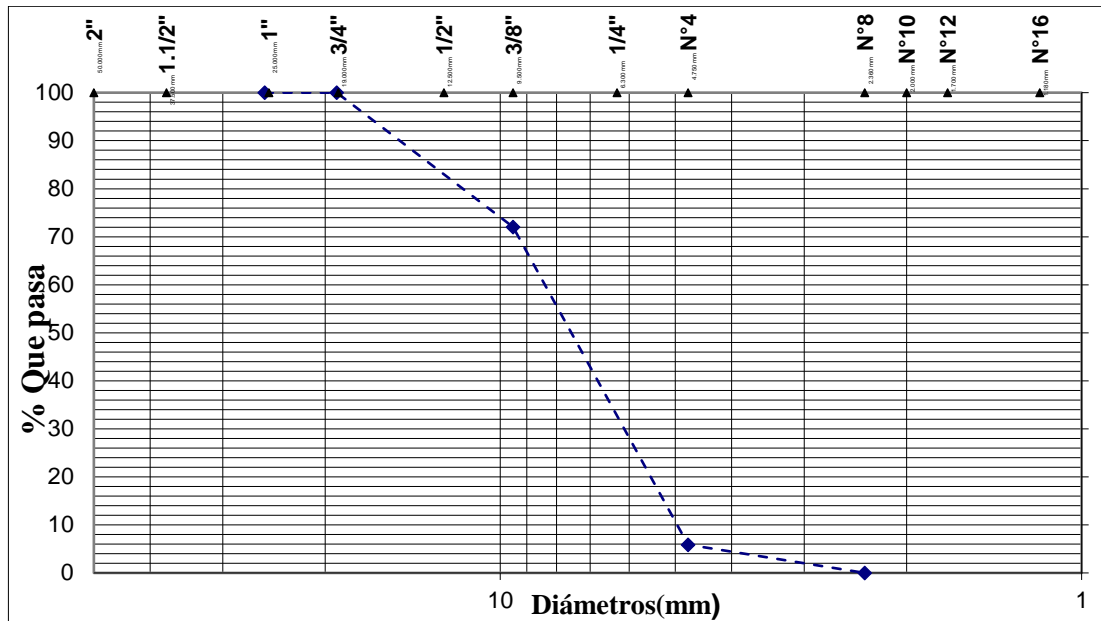
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Granulometría agregado grueso 2

Granulometría agregado grueso gravilla							
TAMIZ	Peso ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total		
		grs	%				
2"	0	0	0,0	50,80			100,0
1 1/2"	0	0	0,0	38,10			100,0
1"	0	0	0,0	25,40			100,0
3/4"	0	0	0,0	19,10			100,0
1/2"	42,6	42,6	0,9	12,70			99,1
3/8"	1355,1	1397,7	28,0	9,50			72,0
N° 4	3309,4	4707,1	94,1	4,75			5,9
N° 8	292,9	5000	100,0	2,36			0,0
N° 16	0	5000	100,0	1,18			0,0
N° 30	0	5000	100,0	0,60			0,0
N° 50	0	5000	100,0	0,30			0,0
N° 100	0	5000	100,0	0,15			0,0
N° 200	0	5000	100,0	0,075			0,0

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.3 Granulometría agregado grueso 2



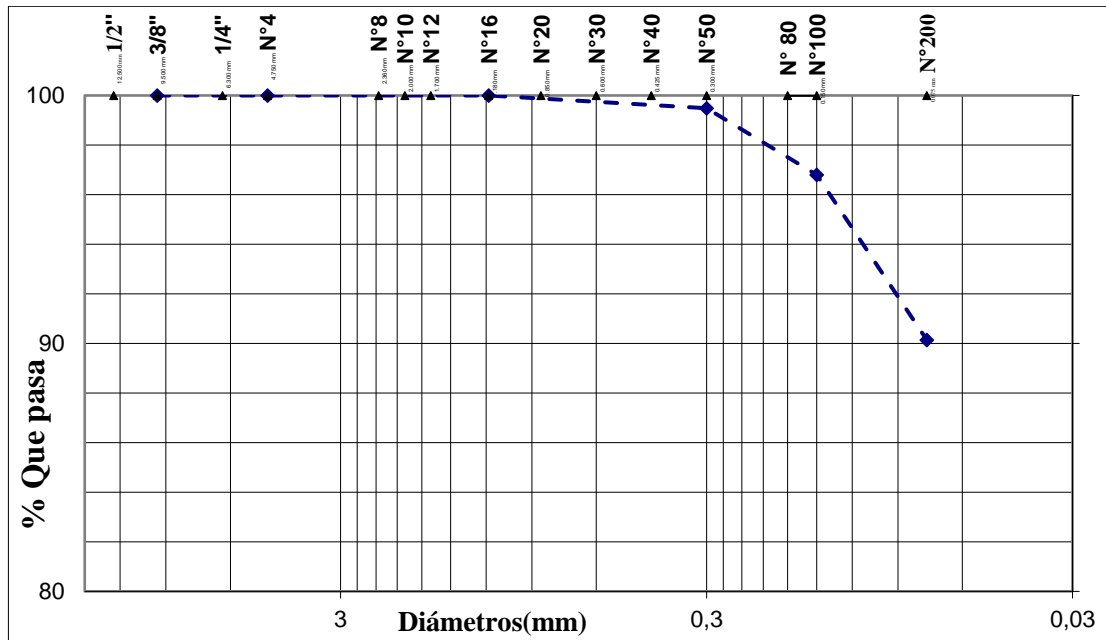
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4 Granulometría agregado fino

Granulometría agregado fino filler							
TAMIZ	Peso ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total		
		grs	%				
2"	0	0	0,0	50,80			100,0
1 1/2"	0	0	0,0	38,10			100,0
1"	0	0	0,0	25,40			100,0
3/4"	0	0	0,0	19,10			100,0
1/2"	0	0	0,0	12,70			100,0
3/8"	0	0	0,0	9,50			100,0
N° 4	0	0	0,0	4,75			100,0
N° 8	0	0	0,0	2,36			100,0
N° 16	0	0	0,0	1,18			100,0
N° 30	0	0	0,0	0,60			100,0
N° 50	25,4	25,4	0,5	0,30			99,5
N° 100	134,7	160,1	3,2	0,15			96,8
N° 200	332,9	493	9,9	0,075			90,1

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.4 Granulometría agregado fino



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los ángeles

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

Los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37,5 mm (1 1/2") y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4"), por medio de la máquina de los Ángeles.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-96 y ASTM C-131.

Figura 3.3 Máquina de desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Esferas y material utilizado



Fuente: Elaboración propia

Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”

Numero de ensayos = 1

Gradación = B

Carga abrasiva con = 11

Esfera a 32.5 RPM, 500 Revoluciones

Tabla 3.5 Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”

Pasado	Retenido	Cantidad tomada
3/4	1/2	2500
1/2	3/8	2500
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1,7 mm)		3,642

Fuente: Elaboración propia

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1358}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 27,16 \%$$

Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8”

Numero de ensayos = 1

Gradación = C

Carga abrasiva con = 8

Esfera a 32,5 RPM, 500 Revoluciones

Tabla 3.6 Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8"

Pasado	Retenido	Cantidad tomada
3/4	1/2	2500
1/2	3/8	2500
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1,7 mm)		3,512

Fuente: Elaboración propia

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1488}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 29,76 \%$$

3.2.3 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales precipitan en los vacíos del agregado. En la reinmersión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para cinco ciclos de inmersión-secado. En nuestro ensayo realizo utilizando el sulfato de sodio

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-104 y ASTM C-88.

Figura 3.5 Colocando las muestras en los recipientes para posteriormente colocar el sulfato de sodio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7 Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso

Granulometría				Peso Materiales	
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después
Nº	Pasa	Ret.		Ensayo(grs.)	Ensayo(grs.)
3/4"	3/4"	1/2"	84,5	629,5	629,2
1/2"	1/2"	3/8"	76,4	330,0	329,9
3/8"	3/8"	Nº 4	49,5	298,7	297,5
Nº 4	Nº 4	Nº 8	36,2	100,2	99,7
Nº 8	Nº 8	Nº40	20,8	100,0	98,7
Nº40	Nº40	0	6,8	99,5	95,0

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de Cálculo para el tamiz 1/2”:

Pérdida por diferencia = Peso antes del ensayo – Peso despues del ensayo

$$\text{Pérdida por diferencia} = 629,5 - 229,2$$

Pérdida por diferencia = 0,3 gr.

% Pasa al Tamiz = % Tamiz Pasa – % Tamiz Retenido

$$\% \text{ Pasa al Tamiz} = 84,5 - 76,4$$

% Pasa al Tamiz = 8,1 %

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

$$\% \text{ de pérdida respecto al tamiz} = \frac{0,3}{629,5} * 100$$

$$\% \text{ de pérdida respecto al tamiz} = 0,04 \%$$

% de pérdida respecto a la muestra total

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

$$\% \text{ de pérdida respecto a la muestra total} = \frac{0,04}{100} * \frac{8,1}{100} * 100$$

$$\% \text{ de pérdida respecto a la muestra total} = 0,003$$

Para las demás muestras de cada tamiz se realizó la misma memoria de cálculo, se muestra a continuación la tabla de resultados.

Tabla 3.8 Resultados del ensayo de durabilidad para agregado grueso

Perdida por	% Pasa al	% Perdida	% Perdida
Diferencia (grs.)	Tamiz más fino	Respecto Tamiz	Respecto Muestra Total
0,3	8,1	0,05	0,00
0,1	26,9	0,03	0,01
1,2	13,3	0,40	0,05
0,5	15,4	0,50	0,08
1,3	14,0	1,30	0,18
4,5	6,8	4,52	0,31

Fuente: Elaboración propia

% Total de pérdida (Grueso)= % de pérdida respecto a la muestra total

Total, de pérdida de peso (Grueso) = 0,63 %

Tabla 3.9 Datos del ensayo de durabilidad para el agregado Fino

Granulometría				Peso Materiales	
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después
Nº	Pasa	Ret.		Ensayo(grs.)	Ensayo(grs.)
3/8"	3/8"	Nº 4	51,4	299,7	293,5
Nº 4	Nº 4	Nº 8	40,4	99,7	96,1
Nº 8	Nº 8	Nº 16	30,4	99,7	94,9
Nº 16	Nº 16	Nº 40	16,1	99,7	93,4
Nº 40	Nº 40	Nº 80	11,3	99,7	94,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Resultados del ensayo de durabilidad para agregado fino

Tamiz	Perdida por Diferencia	% Pasa al Tamiz más fino	% Perdida Respecto Tamiz	% Perdida Respecto Muestra Total
N°	(grs.)	más fino	Tamiz	Muestra Total
3/8"	6,2	11,0	2,07	0,23
N° 4	3,6	10,0	3,61	0,36
N° 8	4,8	14,3	4,81	0,69
N° 16	6,3	4,8	6,32	0,30
N° 40	5,0	11,3	4,99	0,56

Fuente: Elaboración propia

% Total de pérdida (Grueso)= % de pérdida respecto a la muestra total

Total, de pérdida de peso (Grueso) = 2,14

% Total de pérdida = % Total de pérdida (Grueso) + % Total de pérdida (Fino)

% Total de pérdida = 0,63 +2,14

% Total de pérdida = 2,77 %

3.2.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos

Este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en un horno a 100° - 110°C

Después se lo sumerge en agua, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (S.S.S.)

A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergido en el agua, a la temperatura de 25°C de temperatura ambiente.

Tabla 3.11 Peso específico para agregado grueso (grava)

Muestra N°	Peso muestra secada "a" (gr.)	Peso muestra saturada con sup. seca "b" (gr.)	Peso muestra saturada dentro del agua "c" (gr.)	Peso específico a granel (gr./cm. ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr./cm. ³)	Peso específico aparente (gr./cm. ³)	% de absorción
1	4947,30	5000,00	3121,00	2,63	2,66	2,71	1,07
2	4946,80	5000,00	3117,00	2,63	2,66	2,70	1,08
3	4947,90	5000,00	3118,00	2,63	2,66	2,70	1,05
			PROMEDIO	2,63	2,66	2,71	1,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12 Peso específico para agregado grueso (gravilla)

Muestra N°	Peso muestra secada "a" (gr.)	Peso muestra saturada con sup. seca "b" (gr.)	Peso muestra saturada dentro del agua "c" (gr.)	Peso específico o a granel (gr/cm. ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm. ³)	Peso específico aparente (gr/cm. ³)	% de absorción
1	4943,50	5000,00	312,00	2,64	2,67	2,72	1,14
2	4944,10	5000,00	3125,00	2,64	2,67	2,72	1,13
3	4943,60	5000,00	3126,00	2,64	2,67	2,72	1,14
			PROMEDIO	2,64	2,67	2,72	1,14

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Ensayo de peso específico y absorción de agua del agregado fino

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos ASTM C-100.

Figura 3.6 Vertiendo la muestra para realizar el ensayo.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13 Datos del ensayo peso específico del agregado fino (Arena)

Ensayos	1	2	3
Peso muestra seca al horno "A" (gr)	481,10	481,10	482,00
Peso matraz + agua "B" (gr)	677,60	736,80	721,60
Peso muestra + matraz + agua "C" (gr)	987,20	1041,10	1024,70
Peso muestra Sat. Seca "S" (gr)	500,00	500,00	500,00
Peso matraz (gr)	177,60	236,80	221,60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14 Peso específico del agregado fino (Arena)

Ensayos	1	2	3	PROMEDIO
Peso específico SH. (gr./cm. ³)	2,53	2,46	2,45	2,48
Peso específico S.S.S (gr./cm. ³)	2,63	2,55	2,54	2,57
Peso específico aparente (gr./cm. ³)	2,81	2,72	2,69	2,74
Absorción, %	3,93	3,93	3,73	3,86

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15 Datos del ensayo peso específico del agregado fino (Filler)

Ensayos	1	2	3
Peso muestra seca al horno "A" (gr.)	480,30	480,70	482,30
Peso matraz + agua "B" (gr.)	677,60	736,80	721,60
Peso muestra + matraz + agua "C" (gr.)	992,20	1044,10	1028,70
Peso muestra Sat. Seca "S" (gr.)	500,00	500,00	500,00
Peso matraz (gr.)	177,60	236,80	221,60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16 Peso específico del agregado fino (Filler)

Ensayos	1	2	3	PROMEDIO
Peso específico SH (gr./cm. ³)	2,59	2,49	2,50	2,53
Peso específico S.S.S. (gr./cm. ³)	2,70	2,59	2,59	2,63
Peso específico aparente (gr./cm. ³)	2,90	2,77	2,75	2,81
Absorción %	4,10	4,01	3,67	3,93

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Ensayo de equivalencia de arena

El ensayo de Equivalente de arena y agregados finos asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino que está presente en una muestra de ensayo granular que pasa el tamiz N° 4 (4,75mm). El equivalente de arena es una relación de la altura de arena con arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. Primeramente, se debe de tener una muestra del material y tamizarlo por el tamiz N°4 para

poder tener la muestra que se utilizara para este ensayo colocarlo en un recipiente. Luego se debe de colocar la muestra que se utilizara de arena en el cilindro, se deberá verter la muestra en el cilindro con la ayuda de un embudo y hacer momento del cilindro para que se puedan perder todas las burbujas que tenga, dejar en reposo durante 10 ± 1 minuto.

Colocar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro y lavar el material de las paredes del cilindro, Dejar el cilindro y el contenido en reposo por $20 \text{ min} \pm 15\text{s}$. Comenzar a medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

Al finalizar los 20 min del periodo de sedimentación, leer y anotar los niveles alcanzados.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-196.

Figura 3.7 Determinación del equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Muestra en reposo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17 Ensayo de equivalencia de arena

Ensayo N°	Lecturas		
	1	2	3
lectura nivel superior	7,4	7,6	7,5
lectura nivel inferior	3,6	3,7	3,5
% de arena	48,65	48,68	46,67

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{3,6}{7,5} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 48,65\%$$

3.2.7 Ensayo de porcentajes de caras fracturadas

Este ensayo se realiza para determinar el porcentaje el peso de la muestra que se utilizó del agregado en las diferentes caras fracturadas. Se realiza la separación de todas las muestras y se pesó cada muestra para hallar los porcentajes.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos ASTM D 5821-95.

Figura 3.9 Separando las muestras para la realizar el ensayo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18 Datos de ensayo de caras fracturadas

Ensayo	Lecturas		
	3/4"- 1/2"	1/2"- 3/8"	3/8"- 1/4"
Ensayo N°	3/4"- 1/2"	1/2"- 3/8"	3/8"- 1/4"
Peso Total (grs.) (a)	724,55	396,8	355,6
Peso Retenido Tamiz N° 8 (grs.) (b)	25,11	28,74	41,24
Peso Caras No Fracturadas (grs.) (a-b)	699,44	368,06	314,36
% Caras Fracturadas = (b/a) *100	96,53	92,76	88,40

Fuente: Elaboración propia

Peso Caras Fracturadas = Peso Total de Muestra – Peso retenido Tamiz N°8

$$\text{Peso Caras Fracturadas} = 724,55 - 25,11$$

$$\text{Peso Caras Fracturadas} = 699,44 \text{ gr}$$

$$\text{Porcentaje de Caras fracturadas} = \frac{\text{Peso de Caras Fracturadas}}{\text{Peso Total de Muestra}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de Caras fracturadas} = \frac{699,44}{724,55} * 100$$

$$\text{Porcentaje de Caras fracturadas} = \frac{699,44}{724,55} * 100$$

$$\text{Porcentaje de Caras fracturadas} = \mathbf{96,53\%}$$

Tabla 3.19 Resultados del ensayo de caras fracturadas

Ensayo	Lecturas			Promedio	Especificación	
	3/4"- 1/2"	1/2"- 3/8"	3/8"- 1/4"			
% Caras Fracturadas	96,53	92,76	88,40	92.6	>	90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.20 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos

Agregados					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación
			Mínimo	Máximo	AASHTO
Peso específico agregado retenido No 4	gr./cm ³	2,71			T-85
Peso específico agregado pasante No 4	gr./cm ³	2,78			T-84
Desgaste de los Ángeles (3/4")	%	27,16		40	T-96
Desgaste de los Ángeles (3/8")	%	29,76		40	
Durabilidad agregada (Grava; Gravilla)	%	0,63		12	T-104
Durabilidad agregada (Arena)	%	2,14		12	
Caras Fracturadas	%	96,53	90		D-5821
Equivalente de arena	%	48,65	45		T-176

Fuente: Elaboración propia

3.2.8 Ensayo determinación de partículas laminares, chatas y alargadas (ASTM-4791)

Este ensayo describe el procedimiento para la determinación de los porcentajes de los agregados.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos ASTM D-4791.

Tabla 3.21 Datos del ensayo partículas Laminares

Material	Peso Total de la Muestra	Peso Retenido de Partículas Laminares
3/4"	1000 gr.	32 gr.
3/8"	1000 gr.	58,4 gr.

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

$$\% \text{ Total de Partículas Laminares} = \frac{\text{Peso Retenido Partículas Laminares}}{\text{Peso Total de la Muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Laminares} = \frac{32}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Laminares} = 3,20 \%$$

Tabla 3.22 Resultado de ensayo

Material	% Total de Partículas Laminares
3/4"	3,2 %
3/8"	5,84 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23 Datos del ensayo Chatas Alargadas

Material	Peso Total de la Muestra	Peso Retenido de Partículas Chatas Alargadas
3/4" a 1/2"	427,6 gr.	9,4 gr.
1/2" a 3/8"	409,7 gr.	9,5 gr.
3/8" a 1/4"	468,4 gr.	8,9 gr.

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

$$\% \text{ T.d.P. Chatas y Alargadas} = \frac{\text{Peso Retenido Partículas Chatas y Alargadas}}{\text{Peso Total de la Muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Chatas y Alargadas} = \frac{9,4}{428,6} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Chatas y Alargadas} = 2,20 \%$$

$$\% \text{ total de partículas Chatas Alargadas (máximo 10\%)} = 2,26\%$$

Tabla 3.24 Resultados del ensayo chatas y alargadas

Material	% Total de Partículas Chatas Alargadas
3/4" a 1/2"	2,20 %
1/2" a 3/8"	2,32 %
3/8" a 1/4"	1,9%

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ total de partículas Chatas Alargadas (máximo 10\%)} = 2,14\%$$

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Para realizar el diseño óptimo se realizó la evaluación y la caracterización del cemento asfáltico STRATURA 85-100 a continuación, se muestra todos los ensayos:

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

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo.

La penetración se define como la distancia, expresada en decimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas

de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 gramos, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Se coloca una muestra a calentar que se colocarán en un recipiente hasta que este fluido se lo coloca en 2 moldes. Se lo deja enfriar por una hora a temperatura ambiente y se lo coloca en baño María por una hora a 25°C.

Una vez transcurrido los tiempos de inmersión, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre. Se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo específico.

Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Figura 3.10 Penetración de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25 Datos del ensayo de penetración cemento asfáltico 85-100

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRAS			RESULTADO	ESPECIFICACIONES	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.:							
Lectura N°1	0,1 mm.	103	93	94			
Lectura N°2	0,1 mm.	98	97	94			
Lectura N°3	0,1 mm.	89	105	106			
Penetración Promedio	0,1 mm.	97	98	98	98	85	100

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: Realizando la media se tiene como valor de penetración de 98.00 mm a 25°C, 100gr. 5seg.

3.3.2 Ensayo de punto de inflamación (AASHTO T 79-96) (ASTM D 1310-01)

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre.

Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

Llenar la copa con el cemento asfáltico y se aplica calor inicialmente de tal manera que se incremente la temperatura. Pasar la llama de ensayo a través del centro de la copa. Se registra como punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el termómetro cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie.

Figura 3.11 Ensayo de punto Inflamación



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12 Realización del ensayo punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26 Datos del ensayo de punto de inflamación-cemento asfáltico 85-100

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRAS			RESULTADO
		1	2	3	
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	285	280	278	281

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: realizando la media se tiene como valor de punto de inflamación de 281°C

3.3.3 Ensayo peso específico del asfalto AASHTO T-43 (ASTM D-70)

El peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al paso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C. el peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas específicas.

Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada.

Figura 3.13 Ensayo de peso específico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27 Datos del ensayo de peso específico cemento asfáltico 85-100

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRAS		
		1	2	3
Peso Específico a 25°C:				
Peso Picnómetro	grs.	33,9	33,8	36,7
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	84,4	84,6	84,6
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	57	57	53,8
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	84	85,8	85
Peso Específico Promedio	grs./cm. ³	0,980	1,051	1,021

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: realizando la media se tiene como valor de peso específico del cemento asfáltico de 1.018 gr/cm³

$$\text{Peso Esp. del CA.} = 1,018 \text{ gr/cm}^3$$

3.3.4 Ensayo punto de ablandamiento AASHTO T-53 (ASTM D-36)

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

Es general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos y blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación, se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota

la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal, esta temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

Figura 3.14 Equipo para realizar el ensayo de punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15 Realización del ensayo punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28 Datos obtenidos del ensayo punto de ablandamiento cemento asfáltico 85-100

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRAS			RESULTADO	ESPECIFICACIONES	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de ablandamiento	°C	47,0	48,0	46,5	47	41	53

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: realizando la media se tiene como valor de punto de ablandamiento de 47°C

3.3.5 Ensayo para determinar la ductilidad (AASTHO T 51-00) (ASTM D-113)

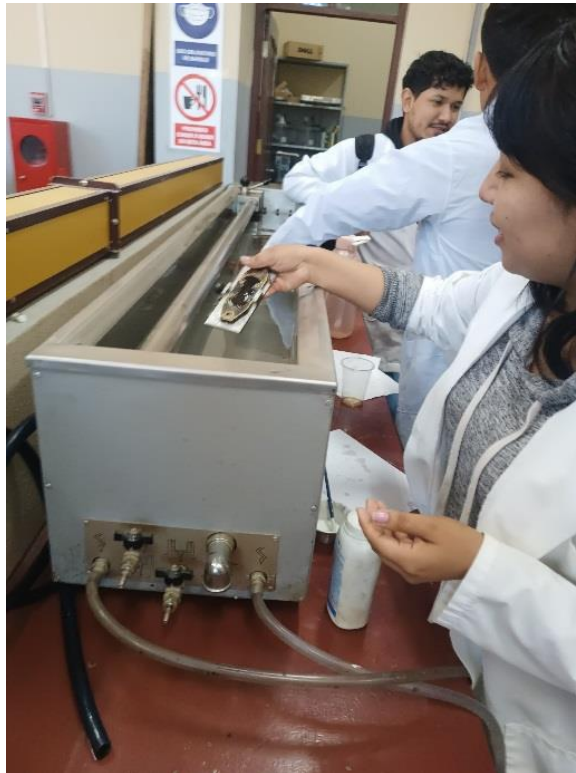
La ductilidad es una característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones. Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y en el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

Figura 3.16 Ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17 Realización del ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29 Resultados ensayo de ductilidad

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRAS			RESULTADO	ESPECIFICACIONES	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	107	101	105	104	100	-

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: realizando la media se tiene como valor de ductilidad de **104 cm.**

3.3.6 Resumen de resultados del cemento asfáltico

Tabla 3.30 Resumen de resultados del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	33,9	33,8	36,7			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	84,4	84,6	84,6			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	57	57	53,8			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	84	85,8	85			
Peso Específico	grs./cm ³	0,980	1,051	1,021	1,018	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	285	280	278	281	232	-
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	107	101	105	104	100	-
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0,1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	103	93	94			
	Lectura N°2	98	97	94			
	Lectura N°3	89	105	106			
	Promedio	mm.	97	98	98	98	85	100
Punto de ablandamiento	°C	47,0	48,0	46,5	47	41	53

Fuente: Elaboración propia

3.4 Diseño de la mezcla asfáltica por el método de Marshall para obtener el contenido óptimo

Metodología

El método de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa.

Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. El método Marshall utiliza

especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0,25 mm (1/100”) que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

3.4.1 Composición granulométrica de los agregados

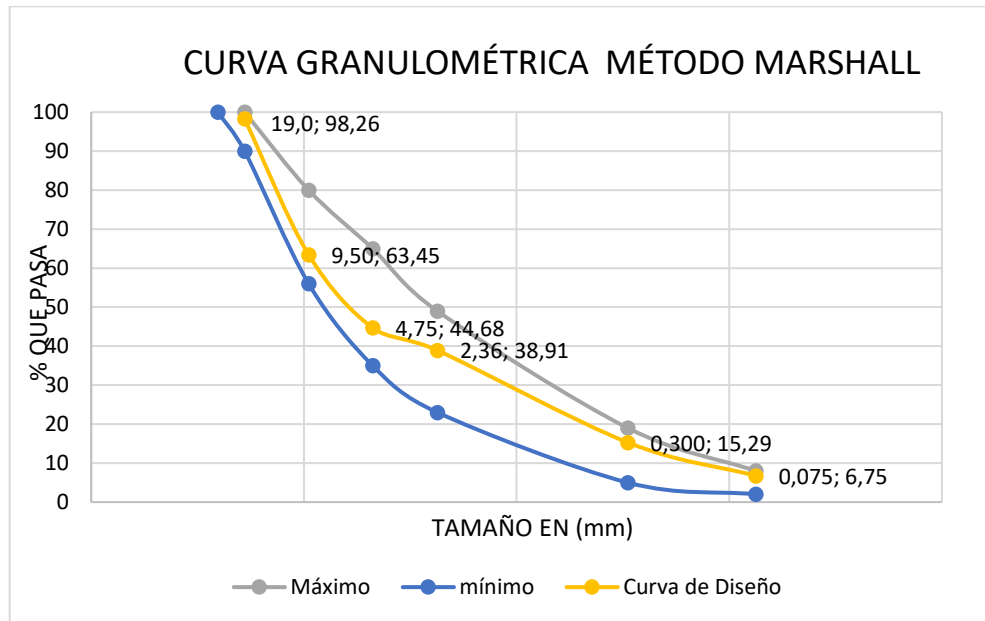
Se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 30 % de agregado grueso de (3/4”), 25 % de agregado grueso de (3/8”), 44 % de agregado fino (Arena) y 1 % de filler para la granulometría formada.

Tabla 3.31 Diseño granulométrico - método Marshall (ASTM D 3515)

Tamices	tamaño	Grava *	Gravilla *	Arena *	Filler *	CURVA DE DOSIFICACIÓN				Esp.	
		Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM D3515	
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	100.00	Mín.				Máx.	
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	290,80	0,00	0,00	0,00	87,24	87,24	1,74	98,26	90	100
1/2"	12,5	3456,10	42,60	0,00	0,00	1047,48	1134,72	22,69	77,31	-	-
3/8"	9,50	1180,30	1355,10	0,00	0,00	692,87	1827,59	36,55	63,45	56	80
Nº4	4,75	67,90	3309,40	206,50	0,00	938,58	2766,17	55,32	44,68	35	65
Nº8	2,36	4,90	292,90	485,00	0,00	288,10	3054,26	61,09	38,91	23	49
Nº16	1,18	0,00	0,00	495,30	0,00	217,93	3272,19	65,44	34,56	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	1435,40	0,00	631,58	3903,77	78,08	21,92	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	753,70	25,40	331,88	4235,65	84,71	15,29	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	488,60	134,70	216,33	4451,98	89,04	10,96	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	471,30	332,90	210,70	4662,68	93,25	6,75	2	8
BASE	-	0,00	0,00	664,20	4507,00	337,32	5000,00	100,00	0,00	-	-

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.5 Faja de trabajo



Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico convencional 85-100

Para la determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 18 briquetas mediante el método Marshall, con porcentajes con porcentajes diferentes de cemento asfáltico para conocer el porcentaje óptimo a utilizar.

Determinación de la cantidad aproximada de asfalto.

$$\%A = 0,035 * a + 0,045 * b + K * c + F$$

Donde:

%A = % de asfalto en la mezcla

a = % Retenido tamiz N° 8

b = % Pasante tamiz N° 8

c = % de agregado que pasa la malla N° 200

K = 0,15, si el % que retiene el tamiz 3/4" esta entre 11 % y 15 %, 0,18, si el % que retiene está entre 6 % y 10 %, 0,20, si el % que retiene es el 5 % o menos.

F = de 0 a 2 % que varía según la absorción del material (se puede asumir 0.7)

Proceso de cálculo:

$$\%A = 0,035 * 61,09 + 0,045 * 38,91 + 0,2 * 6,75 + 0,7$$

$$\%A = 5,94$$

Por este método nos da un resultado muy alto y optamos por realizar el contenido mínimo de cemento asfáltico.

CONTENIDO MÍNIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

Tabla 3.32 Constante de área m²/kg

MATERIAL		Constante de área m²/kg.
Pasa Malla	Se retiene en la malla	
38,1 mm. (1 1/2")	19,05 mm. (3/4")	0,27
19,05 mm. (3/4")	Número 4	0,41
Número 4	Número 40	2,05
Número 40	Número 200	15,38
Número 200		53,30

Fuente: Vías de comunicación de Crespo

Tabla 3.33 Índice Asfáltico

MATERIAL	INDICE ASFALTICO
Gravas o arenas de río o material redondeado, de baja absorción.....	0.0055
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción....	0.0060
Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción, y rocas de absorción media.....	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción.....	0.0080

Fuente: Vías de comunicación de Crespo

Tabla 3.34 Agrupación de grupos

TAMIZ	% RETENIDO	Acumulado de grupos
1 1/2"	0,00	4,17
1"	0,00	
3/4"	4,17	
1/2"	15,28	37,42
3/8"	33,47	
Nº4	41,59	
Nº8	57,86	30,99
Nº16	68,20	
Nº40	72,58	
Nº50	89,28	21,92
Nº100	91,97	
Nº200	94,50	
Pasa Nº200	100,00	5,50
Total		100,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.35 Contenido mínimo de cemento asfáltico

Tamiz		Cantidad de material	Constante de área	Superficie parcial del agregado	Índice asfáltico	Contenido parcial de asfalto
Pasa	Retenido	(%)	(m ² /kg)	(m ²)	(adm)	(kg/kg)
1 1/2"	3/4"	4,17	0,27	0,011	0,0070	0,0001
3/4"	N° 4	37,42	0,41	0,153	0,0070	0,0011
N° 4	N° 40	30,99	2,05	0,635	0,0070	0,0044
N° 40	N° 200	21,92	15,38	3,371	0,0070	0,0236
N° 200	-	5,50	53,30	2,932	0,0070	0,0205
Sumatoria		100				0,0497

Fuente: Elaboración propia

Contenido mínimo de asfalto= 4,97%

El contenido mínimo de asfalto es de 4,97%, debido a este resultado se trabajarán en las diferentes dosificaciones con los siguientes porcentajes: 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0%.

3.4.2.1 Dosificación con los diferentes contenidos de asfalto en la mezcla

Para la dosificación se utilizó la granulometría ya calculada anteriormente.

Para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico se va a preparar 6 grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de forma que las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido, cada grupo con diferentes contenidos de cemento asfáltico. Este contenido varía con el incremento de $\pm 0,5$ % de un grupo a otro.

De esta forma varía los pesos de los agregados según varié la proporción de cemento asfáltico.

Si deseamos calcular el peso de agregado de la dosificación que debemos proporcionar en la pastilla, que tenga 4,5 % de cemento asfáltico necesitamos tener los siguientes datos:

Tabla 3.36 Datos para realizar la dosificación con los diferentes porcentajes de cemento asfáltico

Peso Total de Briqueta (gr)	1200
Ponderación de Grava (%)	30
Ponderación de Gravilla (%)	25
Ponderación de Arena (%)	44
Ponderación de Filler (%)	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.37 Dosificación Marshall con diferentes porcentajes de cemento asfáltico

Dosificación Marshall	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%
Porcentaje de Agregado (%)	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%	93,00%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00
Peso de Grava (gr) *	343,80	342,00	340,20	338,40	336,60	334,80
Peso de Gravilla (gr) *	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50	279,00
Peso de Arena (gr) *	504,24	501,60	498,96	496,32	493,68	491,04
Peso de Filler (gr) *	11,46	11,40	11,34	11,28	11,22	11,16
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

3.5 Determinación de las cantidades de agregados, cemento asfáltico y la geomalla para la mezcla en investigación.

En el mundo, la tecnología de los asfaltos modificados ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando son sometidas a niveles elevados de tránsito y de gradientes de temperatura.

La idea de adicionar polímeros como la geomalla FORTGRID ASPHALT 160 en el presente proyecto, es el de comprobar si las mezclas asfálticas, van a mejorar sus propiedades mecánicas.

Se realiza la incorporación de la geomalla en tres alturas diferentes 0cm, 2cm y 4 cm desde la base.

3.5.1 Procedimiento de ensayo realizado en laboratorio.

La preparación de las muestras se realizó en el “Laboratorio de Asfaltos” de la **Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”**, donde se realizaron 6 puntos de contenidos de cemento asfáltico para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico en la mezcla.

Antes de preparar la mezcla asfáltica, se debe calentar el conjunto de molde y la base de compactación a una temperatura entre 100-150 °C. Por un lado, se pesa en fuentes los distintos tipos de los agregados calculados para una briqueta de 1200 g, por otro lado, se calienta el cemento asfáltico a una temperatura superior a 100 °C, hasta que esté fluido.

Figura 3.18 Pesando la cantidad de los agregados para la mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19 Calentamiento el cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Mezclar los agregados con el cemento asfáltico, agitar durante el calentamiento de la mezcla para evitar sobrecalentamientos locales y evitar un envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica.

Figura 3.20 Mezclado homogéneo de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el cemento asfáltico caliente, hasta completar el peso total de agregados más cemento asfáltico calculando para un porcentaje de la mezcla total.

Figura 3.21 Toma de muestra de la temperatura a la muestra



Fuente: Elaboración propia

Cuando la mezcla haya alcanzado los 140 °C, se debe vaciar con una cuchara en el molde abierto, previamente pasado con un poco de aceite, para el desmolde de briqueta y un papel filtro en la base, para que la muestra se pueda quitar fácilmente después de haber enfriado

Figura 3.22 Aceitado de los moldes para facilitar el desmoldado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.23 Incorporación de la mezcla asfáltica a los moldes



Fuente: Elaboración propia

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro y 3" de altura. La compactación se hace usando un anillo especial compuesto de: un disco circular de 3 7/8" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del martillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18".

Figura 3.24 Compactación de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

Se extraen las muestras con la ayuda de un gato hidráulico.

Figura 3.25 Extracción de la muestra con la ayuda de un gato hidráulico



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26 Briquetas finalizadas



Fuente: Elaboración propia

3.6 Ensayo de Marshall

Una vez extraídas las briquetas de los moldes se proceden a realizar el ensayo de flujo y estabilidad en la prensa. Primero se mide las alturas de las briquetas en tres puntos.

Figura 3.27 Alturas de briquetas



Fuente: Elaboración propia

Antes de realizar el ensayo las muestras deben estar sumergidas a baño maría de agua 60 °C durante 30 minutos.

Figura 3.28 Baño maría



Fuente: Elaboración propia

3.7 Proceso de cálculo de propiedades mecánicas en mezclas asfálticas convencional y modificadas de la geomalla FORTGRID ASPHALT 160

Para un mejor entendimiento se desarrollará el ensayo de una briqueta convencional y modificadas paso a paso.

3.7.1 Briquetas

Para la identificación de las briquetas se les asignó un número, dependiendo el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla.

Tabla 3.38 Identificación de briquetas

Porcentaje de cemento asfáltico	4,5 %	1
		2
		3

Fuente: Elaboración propia

3.7.2 Altura de las briquetas

Se miden las alturas de las briquetas después de haber procedido la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4.0 % sus alturas correspondientes son las siguientes.

Tabla 3.39 Altura media de cada briqueta

Identificación	Altura (cm)
1	6,49
2	6,45
3	6,47

Fuente: Elaboración propia

3.7.3 Peso seco de briqueta

El peso de la briqueta en el aire consiste en medir su peso después de sacarlo del molde.

Tabla 3.40 Peso seco de las briquetas

Identificación	Peso seco de la briketa (gr)
1	1194,1
2	1183,0
3	1188,6

Fuente: Elaboración propia

3.7.4 Peso de briketa en el aire saturado y superficialmente seco (s.s.s.)

El peso de la briketa saturado superficialmente seco consiste en medir su peso una vez secada la briketa después de estar sumergida en agua por un lapso de 30 minutos a 25 °C.

Tabla 3.41 Peso de briketa superficialmente seca

Identificación	Peso s.s.s. de la briketa (gr)
1	1195,5
2	1184,4
3	1190,0

Fuente: Elaboración propia

3.7.5 Peso de briketa sumergida en agua

El peso de la briketa sumergida en agua consiste en medir su peso una vez sumergida en agua a 25°C.

Tabla 3.42 Peso de briqueta sumergido en agua

Identificación	Peso sumergido en agua de la briqueta (gr)
1	671
2	677
3	669

Fuente: Elaboración propia

3.7.6 Volumen de la briqueta

Para este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1.

$$\text{Vol. briqueta} = \text{Peso s. s. s.} - \text{Peso sumergido}$$

$$\text{Vol. briqueta} = 1195.5 - 671$$

$$\text{Vol. briqueta} = 524.5 \text{ cm}^3$$

3.7.7 Densidad de la briqueta

Para este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1.

Densidad real

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

$$\text{Densidad real} = \frac{1194,1}{524,5}$$

$$\text{Densidad real} = 2,28 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad máxima teórica de la briqueta

$$\text{Densidad maxima teórica} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{asfalto}}{\text{Peso espe. asfalto}}\right) + \left(\frac{100 - \% \text{asfalto}}{\text{Peso espe. agregado grueso}}\right)}$$

$$\text{Densidad maxima teórica} = \frac{100}{\left(\frac{4,5}{1,018}\right) + \left(\frac{100 - 4,5}{2,73}\right)}$$

$$\text{Densidad maxima teórica} = 2,53 \text{ gr/cm}^3$$

3.7.8 Porcentaje de vacíos

Para este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1.

Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$Vv = \left(\frac{D_{\text{maxT}} - \text{Dens. promedio}}{D_{\text{maxT}}}\right) * 100$$

$$Vv = \left(\frac{2,53 - 2,30}{2,53}\right) * 100$$

$$Vv = 9,20 \%$$

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M)

$$VAM = \left(\frac{\% \text{ de asfl.} * \text{Dens. promedio}}{\text{Peso específico del asfalto}}\right) + Vv$$

$$VAM = \left(\frac{4,5 * 2,30}{1,018}\right) + 9,20$$

$$VAM = 19,35 \%$$

Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.)

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

$$RBV = \left(\frac{19,35 - 9,20}{19,35}\right) * 100$$

$$RBV = 52,46 \%$$

3.7.9 Estabilidad y fluencia

La estabilidad y fluencia son propiedades que se obtienen a partir de la prensa Marshall.

Tabla 3.43 Estabilidad real

Identificación	Lectura (lb)	
	Estabilidad	Real
1	732	1884,56
2	909	2368,80
3	920	2385,38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44 Altura promedio y factor de corrección por altura

Identificación	Promedio de altura (cm)	Factor de corrección por altura	Promedio del factor de corrección
1	6,49	0,97	0,97
2	6,45	0,98	
3	6,47	0,97	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.45 Estabilidad corregida

Identificación	Estabilidad real (lb)	Factor de corrección	Estabilidad corregida	Estabilidad promedio (lb)
1	1952,91	0,97	1884,56	2212,91
2	2429,53	0,98	2368,80	
3	2459,15	0,97	2385,38	

Fuente: Elaboración propia

Para la lectura de la fluencia medida en la prensa Marshall:

Tabla 3.46 Fluencia en la prensa Marshall

Identificación	Lectura dial fluencia 0.01(plg)	Promedio
1	9	9,33
2	10	
3	9	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.47 Resultados de la estabilidad y fluencia

Identificación	Estabilidad		Especificación 0.01(lb)	Fluencia		Especificación 0.01(plg)
	Real corregida 0.01(lb)	Promedio 0.01(lb)		Lectura 0.01(plg)	Promedio 0.01(plg)	
1	1884,56	2212,91	>1800	9	9,33	8 a 16
2	2368,80			10		
3	2385,38			9		

Fuente: Elaboración propia

3.7.10 Resultados diseño contenido de asfalto óptimo para la mezcla

Tabla 3.48 Resultados del diseño de contenido óptimo de asfalto

N° de probeta	% de Asfalto	altura promedio de probeta	Densidad Briqueta	% de Vacios			Estabilidad Marshall	Fluencia
	base Mezcla		Densidad promedio	% de vacios mezcla total	V.A.M. (vacios agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacios)	Estabilidad promedio	Fluencia promedio
	%		grs/cm ³	%	%	%	libras	0,01 pulg
1	4,50	6,49	2,30	9,20	19,35	52,46	2212,91	9,33
2		6,45						
3		6,47						
4	5,00	6,45	2,33	7,16	18,59	61,51	2678,96	8,33
5		6,39						
6		6,42						
7	5,50	6,26	2,34	5,69	18,36	69,01	2897,14	9,67
8		6,40						
9		6,33						
10	6,00	6,39	2,36	4,35	18,24	76,17	2886,98	11,33
11		6,46						
12		6,43						
13	6,50	6,15	2,35	3,67	18,71	80,36	2584,71	13,33
14		6,20						
15		6,17						
16	7,00	6,22	2,34	3,61	19,67	81,63	1663,58	15,00
17		6,42						
18		6,32						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.49 Resultados obtenidos con los 6 porcentajes de cemento asfálticos para encontrar el contenido óptimo de la misma

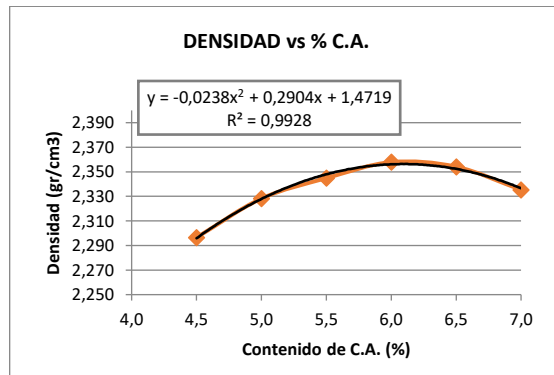
Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm³)	Estabilidad (libra)	fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
4,5	2,297	2212,91	9,33	9,20	52,46	19,35
5,0	2,328	2678,96	8,33	7,16	61,51	18,59
5,5	2,345	2897,14	9,67	5,69	69,01	18,36
6,0	2,358	2886,98	11,33	4,35	76,17	18,24
6,5	2,354	2584,71	13,33	3,67	80,36	18,71
7,0	2,335	1663,58	15,00	3,61	81,63	19,67

Fuente: Elaboración propia

Obtenido todos los valores se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

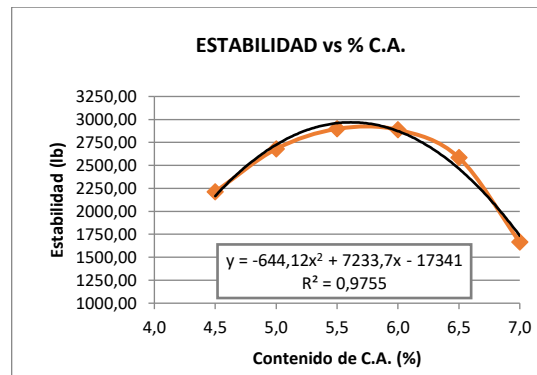
- Densidad de la briqueta vs porcentaje de cemento asfáltico
- Porcentaje de vacíos de la mezcla vs porcentaje de cemento asfáltico
- Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) vs porcentaje de cemento asfáltico
- Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.) vs porcentaje de cemento asfáltico
- Estabilidad vs porcentaje de cemento asfáltico
- Fluencia vs porcentaje de cemento asfáltico

Gráfica 3.6 Densidad vs % de cemento asfáltico



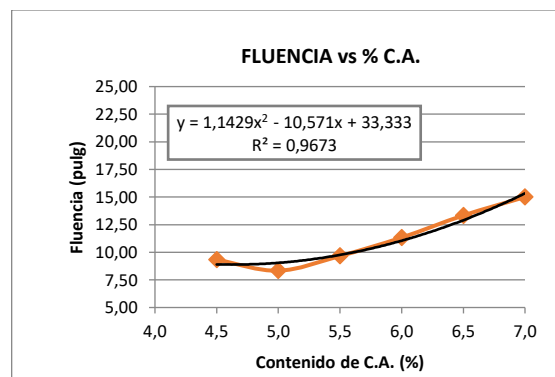
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.7 Estabilidad vs % de cemento asfáltico



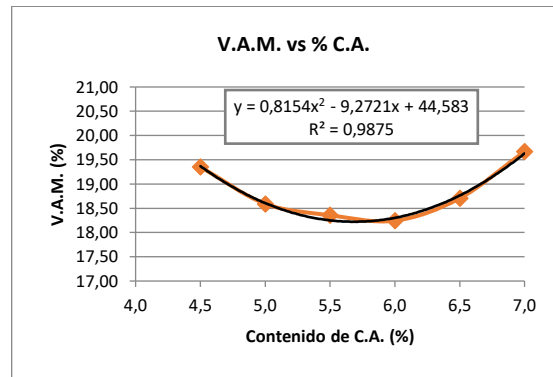
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.8 Fluencia vs % de cemento asfáltico



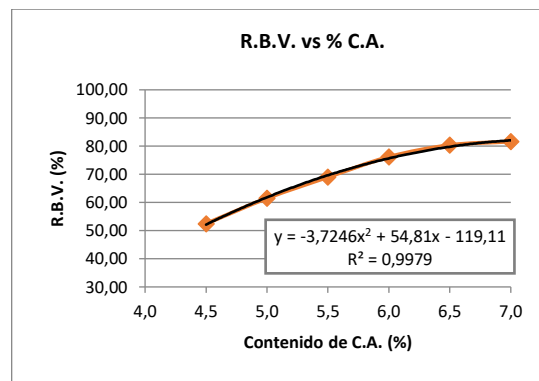
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.9 Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) vs % de cemento asfáltico



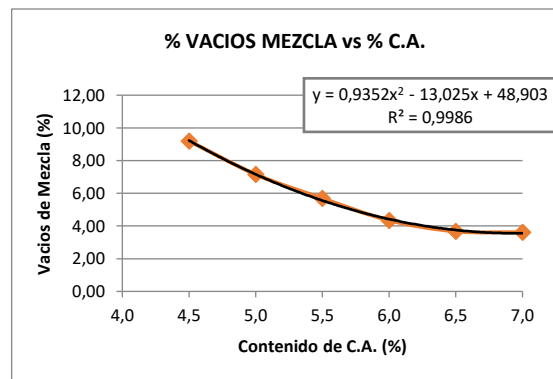
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.10 % de vacíos llenos de asfalto (R.B.V) vs % de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.11 % de vacíos de la mezcla vs % de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla 3.50 Resultados del diseño de la mezcla asfáltica

	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Estabilidad Marshall (Lb)	2968,27	5,62
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,36	6,10
	Vacios de la mezcla (%)	4,00	6,21
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5,98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.51 Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% De asfalto	Valores con % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,98	2,36	-----	-----
% Vacíos	5,98	4,46	3,00	5,00
R.B.V.	5,98	75,46	75,00	82,00
V.A.M.	5,98	18,25	13,00	-----
Estabilidad (lb)	5,98	2885,54	>1800 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	5,98	10,99	8,00	16,00
% óptimo de cemento asfáltico			5,98	

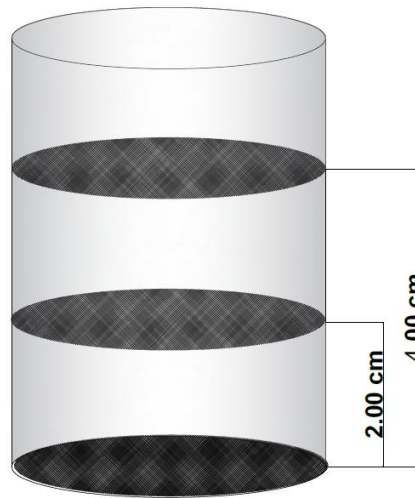
Fuente: Elaboración propia

3.8 Dosificación con la incorporación de la geomalla a diferentes alturas

Una vez encontrado el porcentaje óptimo de cemento asfáltico se procedió a realizar ensayos con 3 alturas diferentes, incorporando la geomalla en lámina.

Las alturas donde se añadirá la geomalla en forma de lámina serán a 0 cm de la base, a 2 cm de la base y a 4 cm de la base como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 3.29 Incorporación de la geomalla a 3 alturas diferentes



Fuente: Elaboración propia

3.8.1 Proceso para la adición de la geomalla FORTGRID ASPHALT 160 a las mezclas asfálticas.

Para la elaboración de las briquetas con los polímeros de la geomalla FORTGRID ASPHALT 160 fueron introducidos a las briquetas en 3 diferentes alturas.

Figura 3.30 Recortado de la malla



Fuente: Elaboración propia

Una vez recortados con el diámetro establecido por el molde la incorporación de la geomalla será en base a la altura, para empezar, se realizará briquetas con la malla en la base, a 0 cm de la misma.

Figura 3.31 Comprobación del diámetro de la geomalla



Fuente: Elaboración propia

3.8.2 Geomalla a 0 cm de la base

Figura 3.32 Briqueta con la geomalla a 0cm.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.52 Resultados del diseño con la incorporación de la geomalla a 0 cm de la base

N° de probeta	% de Asfalto	altura promedio de probeta	Densidad Briqueta	% de Vacíos			Estabilidad Marshall		Fluencia
	base Mezcla		Densidad promedio	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betunen vacíos)	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Fluencia promedio
			%	grs/cm ³	%	%	%	libras		libras	0,01 pulg
1	5,98	6,46	2,407	2,38	16,52	85,62	3075,02	2966,74	10,60
2		6,43					3077,62		
3		6,35					2741,90		
4		6,28					3095,83		
5		6,42					2834,14		
6		6,41					2910,31		
7		6,35					3116,20		
8		6,34					2790,64		
9		6,42					2963,77		
10		6,45					3061,92		

Fuente: Elaboración propia

3.8.3 Geomalla a 2 cm de la base

Luego se realizarán briquetas con la incorporación a 2 cm de la base.

Figura 3.33 Incorporación de la geomalla a 2cm.



Fuente: Elaboración propi

Tabla 3.53 Resultados del diseño con la incorporación de la geomalla a 2 cm de la basa

N° de probeta	% de Asfalto	altura promedio de probeta	Densidad Briqueta		% de Vacíos			Estabilidad Marshall		Fluencia
	base Mezcla		Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Fluencia promedio
	%		grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	libras	libras	0,01 pulg
1	5,98	6,37	2,405	2,46	2,39	16,51	85,53	2757,66	2651,40	11,20
2		6,29						2599,73		
3		6,41						2849,31		
4		6,51						2577,94		
5		6,46						2632,45		
6		6,44						2753,91		
7		6,39						2615,84		
8		6,40						2431,07		
9		6,36						2740,42		
10		6,34						2555,66		

Fuente: Elaboración propia

3.8.4 Geomalla a 4 cm de la base

Por último, se procede a incorporar a una altura de 4 cm de la base.

Figura 3.34 Incorporación de geomalla a 4cm.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.54 Resultados del diseño con la incorporación de la geomalla a 4 cm de la base

N° de probeta	% de Asfalto	altura promedio de probeta	Densidad Briqueta		% de Vacíos			Estabilidad Marshall		Fluencia
	base Mezcla		Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betunen vacíos)	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Fluencia promedio
			%	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	libras	libras	0,01 pulg
1	5,98	6,44	2,402	2,46	2,49	16,60	85,00	2430,15	2472,66	11,60
2		6,38						2504,85		
3		6,36						2434,20		
4		6,41						2517,75		
5		6,32						2698,69		
6		6,47						2539,49		
7		6,35						2337,98		
8		6,39						2487,88		
9		6,37						2441,50		
10		6,42						2334,10		

Fuente: Elaboración propia

3.8.5 Evaluación de la estabilidad

Para las briquetas con los polímeros (geomalla) añadidos, se trabajó con el porcentaje óptimo de 5,98 % de cemento asfáltico, para tener el resultado de estabilidad de dicho punto, en las tablas siguientes se muestran los resultados de estabilidad obtenidos mediante el equipo Marshall, para las briquetas con la geomalla.

Tabla 3.55 Evaluación de la estabilidad con la geomalla a 3 alturas diferentes

Parámetro	0 cm de la base	2 cm de la base	4 cm de la base
Estabilidad Marshall (libras)	2966,74	2651,40	2472,66

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que a mayor altura incorporada la geomalla la estabilidad disminuye por ejemplo a 0 cm, tenemos una estabilidad de 2966,74 libras, pero a una altura de 4 cm tenemos 2472,66 libras.

3.8.6 Evaluación de la fluencia

Para las briquetas con los polímeros (geomalla) añadidos, se trabajó con el porcentaje óptimo de 5,98 % de cemento asfáltico, para tener el resultado de fluencia de dicho punto, en las tablas siguientes se muestran los resultados de fluencia obtenidos mediante el equipo Marshall, para las briquetas con polímeros.

Tabla 3.56 Evaluación de la fluencia con la geomalla a 3 alturas diferentes

Parámetro	0 cm de la base	2 cm de la base	4 cm de la base
Fluencia Marshall 1/100(plg)	10,60	11,20	11,60

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que a mayor altura incorporada la geomalla la fluencia aumenta por ejemplo a 0 cm, tenemos una fluencia de 10,60 pulgadas, pero a una altura de 4 cm tenemos 11,60 pulgadas.

3.8.7 Comparación de resultados de estabilidad

Tabla 3.57 Estabilidad en la mezcla asfáltica convencional y modificada

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Estabilidad (libras)	Estabilidad con la geomalla a 0 cm de la base	Estabilidad con la geomalla a 2 cm de la base	Estabilidad con la geomalla a 4 cm de la base
4,5	2212,91	2966,74	2651,40	2472,66
5,0	2678,96			
5,5	2897,14			
6,0	2886,98			
6,5	2584,71			
7,0	1663,58			

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar las estabildades de una mezcla convencional están ligeramente relacionadas con la incorporación de la geomalla, por ejemplo, en la mezcla convencional el valor más alto de estabilidad es al 5,5 % de cemento asfáltico con un valor de 2897,14 lb. sin embargo, con la incorporación de la geomalla se logra un mayor valor de estabilidad este se da en la incorporación de la misma en la base a 0 cm donde se obtiene un valor de 2966,4 lb. Por otra parte, los valores más bajos en mezcla convencional se presentan en la incorporación de 7,0 % de cemento asfáltico con un valor de 1663,58 lb, mientras que en la incorporación de la geomalla el valor mínimo se presenta con la malla a una altura de 4 cm dando un valor de 2472,66 lb.

3.8.8 Comparación de los resultados de la fluencia

Tabla 3.58 Fluencia en la mezcla asfáltica convencional y modificada

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Fluencia 0/100 (plg)	Fluencia con la geomalla a 0 cm de la base	Fluencia con la geomalla a 2 cm de la base	Fluencia con la geomalla a 4 cm de la base
4,5	9,33	10,60	11,20	11,60
5,0	8,33			
5,5	9,67			
6,0	11,33			
6,5	13,33			
7,0	15,00			

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar las fluencias de una mezcla convencional están ligeramente relacionadas con la incorporación de la geomalla, por ejemplo, en la mezcla convencional el valor más alto de fluencia es al 6,00 % de cemento asfáltico con un valor de 11,33 centésimas plg, sin embargo, con la incorporación de la geomalla se logra un valor de fluencia mayor en la incorporación de la misma en una altura de 4 cm donde se obtiene un valor de 11,60. Por otra parte, el valor más bajo en mezcla convencional se presenta en la incorporación de 4,5 % de cemento asfáltico con un valor de 9,33 centésimas plg, mientras que en la incorporación de la geomalla el valor mínimo se presenta con la malla a una altura de 0 cm dando un valor de 10,60 centésimas plg.

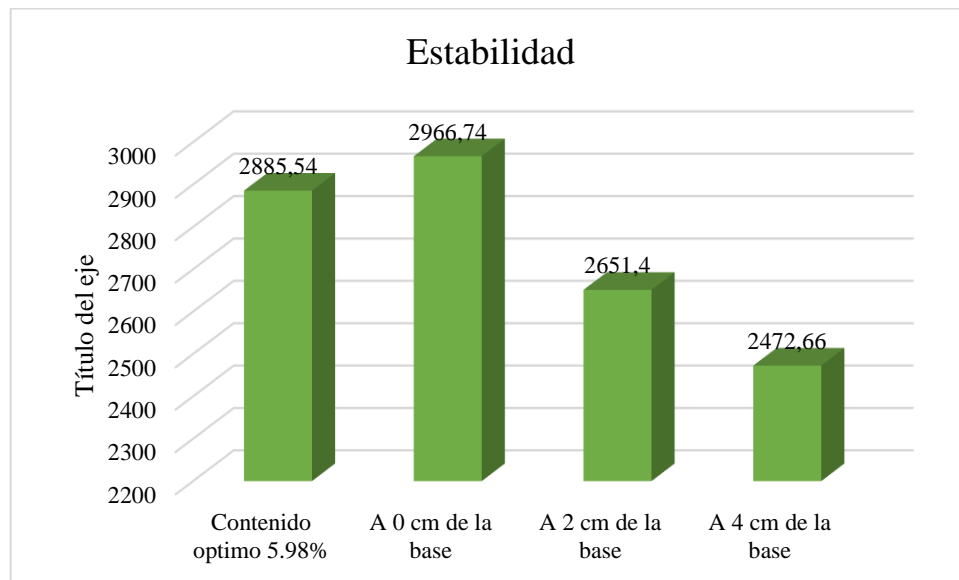
3.9 Comparación de los valores obtenidos para el contenido óptimo del diseño Marshall con la incorporación de la geomalla en diferentes alturas aplicadas

Tabla 3.59 Comparación de los valores óptimos con los encontrados a diferentes alturas

% óptimo de cemento asfáltico 5.98		Fluencia con la geomalla a 0 cm de la base	Fluencia con la geomalla a 2 cm de la base	Fluencia con la geomalla a 4 cm de la base
Fluencia	10,99	10,60	11,20	11,60
Estabilidad	2885,54	2966,74	2651,40	2472,66

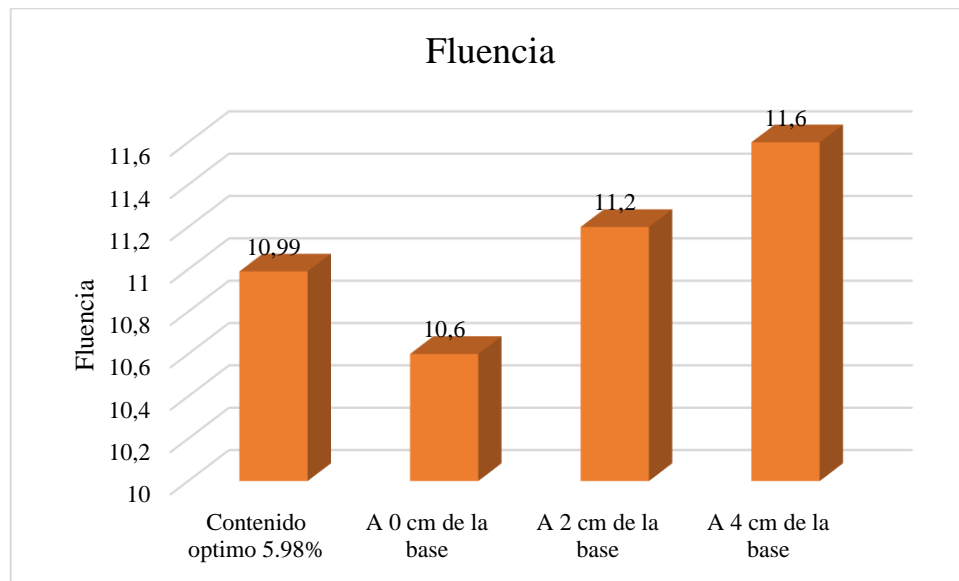
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.12 Análisis de la Estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.13 Análisis de la Fluencia



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar las fluencias de una mezcla convencional con el porcentaje óptimo de 5,98% están ligeramente relacionadas con la incorporación de la geomalla, por ejemplo, en la mezcla convencional con el 5,98% de cemento asfáltico el valor de la fluencia es 10,99 centésimas plg, sin embargo, con la incorporación de la geomalla se logra un valor de fluencia menor este se da en la incorporación de la misma en la base a 0 cm donde se obtiene un valor de 10,60 centésimas plg. Por otra parte, en la estabilidad tenemos un valor de 2885,54 lb para el porcentaje óptimo de cemento asfáltico en una mezcla convencional, mientras que en la modificada con la geomalla se obtiene un valor máximo de 2966,74 lb. a una altura de 0 cm de la base.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En la presente investigación se han cumplido los objetivos planteados, se logró observar que se presentan mejores resultados en estabilidad y fluencia con la incorporación de la geomalla **FORTGRID ASPHALT 160**, dando como resultados mejoras técnicas comparables a las mezclas asfálticas convencionales.
- Se realizó la caracterización del agregado pétreo son de buena calidad y provienen de un proceso de trituración, por lo que la mayor parte de las partículas son de forma angular y superficie rugosa contribuyendo a aumentar la resistencia al esfuerzo cortante, el cómputo global de los resultados obtenidos en estos ensayos mostró características muy favorables cumpliendo así las especificaciones mínimas requeridas.

Los resultados fueron los siguientes:

Agregado grueso

- Desgaste mediante la máquina de Los Ángeles (máx. 40%) = 29,76%
- Caras fracturadas en agregados gruesos (min. 90%) = 92,6%
- Método de sulfatos para determinar desintegración (máx. 12%) = 0,63%

Agregado fino

- Equivalente de arena (min. 45%) = 48,6%
- Método de sulfatos para determinar desintegración (máx. 12%) = 2,14%

- Los agregados pétreos que fueron utilizados para la producción de la mezcla asfáltica son de buena calidad y provienen de un proceso de trituración, por lo que la mayor parte de las partículas son de forma angular y superficie rugosa contribuyendo a aumentar la resistencia al esfuerzo cortante y cumplen con todas las especificaciones técnicas al igual que el cemento asfáltico.

- Para la fabricación de mezclas asfálticas convencionales se determinó un porcentaje óptimo de asfalto es 5.98% las propiedades físicas y mecánicas determinadas según el método Marshall fueron las siguientes

- Densidad=	2.36 gr/cm ³
- % de vacíos en la mezcla (3-5) =	4.46 %
- %Relación betún vacíos (75-82) =	75,46%
- % Vacíos en agregado mineral (min. 13%) =	18,25%
- Estabilidad Marshall (min. 1800 lb) =	2885,54 lb
- Fluencia Marshall (8-14 1/100") =	10,99 1/100"

- Se analizó la estabilidad de cada mezcla asfáltica donde la altura optima de aplicación de la geomalla **FORTGRID ASPHALT 160** es en la base a 0 cm con una estabilidad de **2966,74 libras**, superior a la mezcla asfáltica convencional con una estabilidad de **2897,14 libras** al contenido de cemento asfáltico óptimo de 5,98 %, demostrando con ello que la mezcla asfáltica con la geomalla **FORTGRID ASPHALT 160** mejora su propiedad de estabilidad.
- Se analizó la fluencia de cada una de las mezclas asfálticas, con lo que se obtuvo para la mezcla asfáltica convencional una fluencia máxima de **10.92** centésimas de pulgada, superior a la de la mezcla con la geomalla **FORTGRID ASPHALT 160** que tiene un valor de **10,60** centésimas de pulgada, demostrando con ello que los resultados obtenidos disminuyen su deformación.

4.2 Recomendaciones

- Para garantizar la calidad de las mezclas asfálticas se deberá realizar la preparación adecuada para evitar daños en la elaboración de las muestras puestas en las briquetas.
- Es importante realizar los ensayos mínimos de caracterización, de los agregados como el cemento asfáltico, para determinar si el material es apto para ser utilizado en la elaboración de las mezclas asfálticas.
- Estimar una programación óptima del tiempo para la realización de la caracterización de los agregados y del cemento asfáltico para optimizar el uso de equipo y materiales en los laboratorios.
- Se deberá de tener en cuenta que para la elaboración de las mezclas asfálticas se debe controlar la temperatura antes de la compactación para evitar errores que puedan afectar a los resultados de las propiedades mecánico-resistente.
- Una vez fabricadas las briquetas, tomar los datos como la altura promedio y los pesos (seco, saturado superficialmente seco y sumergido), con un alto grado de precisión, debido a que son parámetros que influyen en los cálculos de la densidad y el porcentaje de vacíos.
- De acuerdo a la bibliografía obtenida y en base a los resultados de ensayo de laboratorio, se recomienda incorporar en las especificaciones técnicas para construcción el uso diseño de mezcla asfáltica tibia en nuestro país.
- Se recomienda que al trabajar con mezcla asfáltica a temperaturas altas se utilice el equipo necesario de seguridad para su manipuleo.