

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Una mezcla asfáltica, también denominada aglomerado, en general es una combinación de un ligante hidrocarbonato y agregados minerales pétreos. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla así como el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso. Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta. Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. 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 son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto.

Estableciendo un punto de partida para el desarrollo de las investigaciones se recolecto información acerca de la incidencia de los componentes de la carpeta asfáltica. Uno de los componentes que influye directamente en la deformación de la capa asfáltica además del ligante asfáltico son los material granulares que la conforman, es por esto que en este proyecto se estudiaran los diferentes comportamientos de la mezcla asfáltica según los tipos de material granular que contengan.

Por esta razón, es importante el conocimiento de su mineralogía, de sus propiedades y de sus características, con el objeto de predecir su comportamiento en la mezcla y finalmente, en la carpeta asfáltica.

En el medio ingenieril hay necesidad de mejorar las metodologías de diseño de la estructura de pavimentos. Pavimentos que sean resistentes a las deformaciones

permanentes, a las grietas por fatiga, grietas por temperatura y finalmente para alargar su vida útil. Actualmente la construcción y mantenimiento involucran altos costos económicos, lo que hace indispensable profundizar los conocimientos acerca del comportamiento de los pavimentos y en particular de las mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas a través de estudios teóricos y experimentales.

1.2 Situación Problemática

En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de tamaño de agregados a emplearse. La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral).

El comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales es diferente a partir de los agregados que la componen, principalmente de los agregados pétreos minerales, que vienen a ser un 90% aproximadamente. Estos pueden ser naturales o triturados que afectan en el comportamiento de las mezclas asfálticas, al utilizar diferentes tipos de agregados naturales o triturados nos presentan mezclas diferentes y por lo tanto comportamientos también diferentes que afectarán las propiedades y características en mezclas.

Las posibilidades reales que se tienen en los diferentes proyectos viales donde se utilizarán mezclas asfálticas son variadas dependiendo de los agregados a utilizar y el tipo de cemento asfáltico, sin embargo entre los agregados la mayor variabilidad está en las arenas tanto naturales como trituradas ya que estas dependen de su procedencia y sobre todo de su granulometría, existen arenas gruesas, intermedias y finas tanto en naturales como trituradas, esta variabilidad tiene significativa incidencia en el producto de la mezcla asfáltica y su comportamiento ante la presencia de cargas de tráfico.

1.2.1 Problema

¿Qué tipo de arena triturada o natural será el más adecuado para emplear en mezclas asfálticas convencionales y cuál es la incidencia que tiene el tipo de arena en las propiedades de la mezcla?

1.3 Justificación

El desempeño de los pavimentos de concreto asfáltico depende de las propiedades y proporciones de sus principales componentes, como son: los agregados cemento asfáltico y volumen de vacíos.

La práctica actual del diseño de mezclas asfálticas convencionales deja ver la importancia de lograr propiedades volumétricas adecuadas en la carpeta asfáltica terminada, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de la superficie de rodamiento en su vida de servicio. De ahí, la trascendencia de simular de manera adecuada en el laboratorio la densificación que ocurre en campo, bajo la acción vehicular y de esta forma llegar a fórmulas de trabajo que permitan dosificar mezclas que exhiban un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima. El incremento de la resistencia de las mezclas asfálticas puede ser alcanzado a través de la exigencia de mejores propiedades y características para los agregados.

Por ello la propuesta será una mezcla asfáltica en caliente, comparar la influencia de la gradación de áridos de arena natural y triturada mediante el método Marshall.

Hasta el momento en nuestro departamento no se han realizado estudios reales sobre este tema, razón por la cual se pretende hacer este trabajo de grado.

Además empresas dedicadas a la producción de mezcla asfáltica podrán conocer los resultados y beneficios del empleo de este tipo de mezclas diseñada con el método Marshall, y así evaluar su implementación en el país.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la influencia de arenas naturales y trituradas, a partir de ensayos de laboratorio que nos permitan determinar la variación de las propiedades y características de la mezcla asfáltica ante la presencia de distintos tipos de arena, de esta manera determinar cuál es el tipo de arena con mejor comportamiento utilizando arenas de la región.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Describir aspectos generales de mezclas asfálticas.
- ✓ Analizar las características y propiedades teóricas, en mezclas asfálticas.
- ✓ Ubicar banco de materiales pétreos, y asfalto que se van a utilizar en la investigación.
- ✓ Caracterizar los materiales pétreos gruesos, intermedios y finos en arena natural y arena triturada.
- ✓ Comparar la influencia de la gradación de áridos de arena natural y triturada mediante el método Marshall en la elaboración de mezclas asfálticas.
- ✓ Determinar las conclusiones y recomendaciones del comportamiento de las arenas en mezclas asfálticas convencionales.

1.5. Hipótesis

Si se utilizan en la conformación de mezclas asfálticas arenas de distinta procedencia y gradación entonces las propiedades, características y comportamiento de la mezcla asfáltica es diferente y consecuente con dichos materiales.

1.6. Definición de variables conceptuales

1.6.1. Variables Independientes o experimentales

Distintos tipos de arenas tanto en procedencia como gradación para su utilización en mezclas asfálticas

1.6.2. Variable Dependiente

Propiedades y características de las mezclas asfálticas a partir de la variabilidad de arenas de procedencia regional.

1.7. Diseño metodológico

El proyecto de investigación “El efecto de arenas naturales y trituradas en las mezclas asfálticas convencionales” deberá comprender los siguientes medios para la elaboración del mismo:

1.7.1. Unidades de Estudio y Decisión muestral

1.7.1.1.-Unidad de estudio

Comportamiento de los áridos en las mezclas asfálticas.

1.7.1.2. Población

Es el conjunto de materiales pétreos de gradación fina, agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el tamiz de 75 μ m (No. 200). Específicamente arenas naturales y trituradas.

1.7.1.3. Muestra

El material que se utilizara proviene de tres bancos de materiales que denominaremos B1 , B2 y B3 del departamento de Tarija. Vafercon, Erika y Charaja.

1.7.1.4. Muestreo

La selección de muestras estará basada en normas AASHTO; ASTM y Norma Boliviana

1.7.1.5.- Tipo de Investigación

El tipo de estudio que se hará para la realización del siguiente trabajo de investigación es:

Investigación Explicativa: Debido a que se determinará el efecto de las gradaciones de arenas gruesas, intermedias y finas tanto natural o trituradas establecer relaciones entre las propiedades de los suelos naturales. Específicamente se tratara de establecer la incidencia de las gradaciones de arenas naturales y trituradas si hay una relación causa y efecto entre ambas variables, es decir si disponemos de la variabilidad de los valores de la variable independiente mejoraría los valores de la variable dependiente.

1.7.2. Alcance

Con la presente investigación “Efecto de las arenas naturales y trituradas en mezclas asfálticas convencionales” se quiere lograr el estudio de comparación e influencia de

las arenas de variada granulometrías, en las propiedades de mezclas asfálticas utilizando asfalto convencional, a objeto de tener alternativas para mejorar el diseño de mezcla.

Se establece el problema fundamental de investigación que se persigue con la elaboración del proyecto, el efecto de la gradación de los materiales pétreos para mejorar el comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales y por medio de la definición de los objetivos generales, específicos, alcance y sus limitaciones.

Consecutivamente se describirá los aspectos generales de las mezclas asfálticas, como el ligante asfáltico convencional y agregados pétreos, las propiedades físicas mecánicas y especificaciones relevantes que se debe considerar para el diseño de mezcla asfáltica.

Posteriormente se conceptualizará todo lo referente a la investigación de la granulometría triturada y natural en las mezclas asfálticas.

Los agregados de mayor variabilidad está en las arenas tanto naturales como trituradas ya que estas dependen de su procedencia y sobre todo de su granulometría, esta variabilidad tiene significativa incidencia en el producto de la mezcla asfáltica y su comportamiento ante la presencia de cargas de tráfico.

Luego se procede a la aplicación de la investigación, con la caracterización de los materiales pétreos, asfalto convencional, elaboración de las briquetas de mezcla convencional para los seis tipos de granulometrías y procedencia particular.

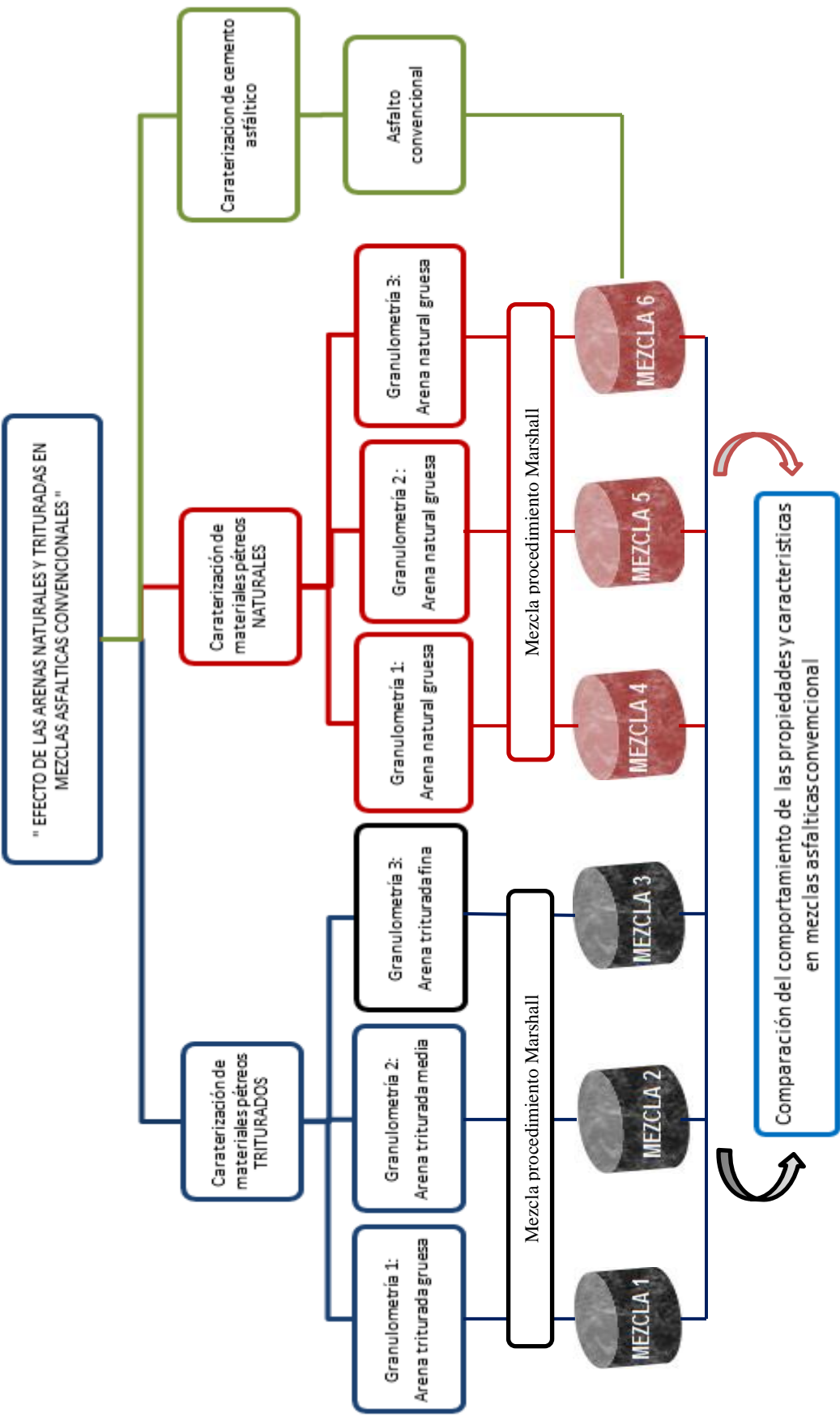
Finalmente analizar el cumplimiento de los intereses formulados inicialmente en el proyecto, se especificará si los resultados serán satisfactorios en cuanto al desarrollo de los efectos de gradación en el diseños de mezclas asfálticas con asfaltos convencionales.

1.7.3. Metodología

El proyecto de investigación “**EL EFECTO DE ARENAS NATURALES Y TRITURADAS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES**” se llevara a cabo el proceso que se describe a continuación:

- ✓ Recopilar información bibliográfica referente al estudio planteado. Esta información, se la obtendrá a través de revisión de libros, páginas web, y todo lo referente al tema de investigación.
- ✓ Se contara con el apoyo del municipio o institución a fines para disponer los bancos de materiales, así mismo del laboratorio de suelos y asfalto de U.A.J.M.S para caracterizar los materiales pétreos y elaboración de la mezcla asfáltica.
- ✓ Para el desarrollo de esta investigación, el material que se utilizara proviene de dos bancos de materiales, que denominaremos B1; B2; B3; B4; B5 Y B6 del departamento de Tarija.
- ✓ Se procede a caracterizar los materiales pétreos mediante los ensayos de laboratorio:
 1. Granulometría de agregados (ASTM C136 ; AASHTO T27; ABC SO302)
 2. Desgaste de los ángeles
 3. Determinación de Caras Fracturadas ASTM D 5821
 4. Equivalente de Arena ASTM D 2419 AASHTO T 176
 5. Determinación gravedad específica y absorción de agua en áridos gruesos ASTM C 127-01 AASHTO T85-91
 6. Gravedad Específica y absorción en Agregados Finos ASTM C-12
- ✓ Así mismo también se caracteriza los materiales asfálticos mediante ensayos de laboratorio:

1. Penetración (ASTM D5, AASHTO T49-97)
 2. Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol (ASTM D244, AASTHO T5997)
 3. Punto de reblandecimiento del Bitumen usando Anillo y Bola (ASTM D 36, AASHTO T53-96)
 4. Densidad relativa
 5. Puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland
-
- ✓ Luego se realizara el análisis granulométrico de los agregados pétreos para los distintos tipos de arena especificando la clasificación el tamaño de las mismas, de fracción gruesa intermedia y fina.
 - ✓ Posteriormente elaborar probetas de ensayo mediante el Método Marshall, el contenido de asfalto igual a un 5.5 % y usando la granulometría especificada en el párrafo anterior.
 - ✓ Para que el análisis de resultados sea confiable, se fabricaron 30 briquetas Marshall en la mezcla convencional, 15 briquetas para la granulometría triturada y 15 briquetas para la granulometría natural, de las cuales 5 para arenas gruesas, 5 intermedias y 5 para arenas finas, para arena triturada y así mismo con las mismas cantidades para arenas naturales.
 - ✓ Finalmente se evaluará los resultados de los efectos de la gradación de áridos de arenas en las mezclas asfálticas con asfaltos convencionales.
 - ✓ Finalmente se evaluará los resultados de los efectos de la gradación de áridos basadas en normas AASHTO; ASTM y Norma Boliviana en mezclas asfálticas convencionales



CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y MATERIALES

2.1. INTRODUCCION

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta. Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 95 % de agregados pétreos y 5% de ligante asfáltico. La gradación de áridos es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas, al utilizar diferentes tipos de agregados naturales o triturados nos presentan mezclas diferentes y por lo tanto comportamientos también diferentes que afectaran las propiedades y características en mezclas.

En el presente proyecto se determina el efecto de la variabilidad de las arenas tanto naturales como trituradas ya que estas dependen de su procedencia y sobre todo de su granulometría y tiene significada incidencia en el producto de la mezcla asfáltica y su comportamiento ante la presencia de cargas de tráfico. Se utilizara tres tipos de gradaciones de arenas: arenas gruesas, intermedias y finas tanto en naturales como trituradas, la metodología de diseño de las mezclas asfálticas empleado en esta investigación es el diseño Marshall.

Por esta razón, es importante el conocimiento de su mineralogía, de sus propiedades y de sus características, con el objeto de predecir su comportamiento en la mezcla y finalmente en la carpeta asfáltica.

2.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS.

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

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

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

2.2.1. COMPONENTES

2.2.1.1. EL ASFALTO

Es una sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad.

2.2.1.2. Obtención del Asfalto en Refinerías

El crudo de petróleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto. Para obtener este debe separarse entonces las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo

2.2.1.2.1. Destilación Primaria

Es la primera operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los componentes livianos (nafta, kerosene, gasoil), hierven a esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionadora. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.

2.2.1.2.2 Destilación al Vacío

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfáltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío. Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionadora, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

2.2.1.2.3. Desasfaltización con propano o butano

El residuo de vacío obtenido por destilación al vacío, contiene los asfáltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfáltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. El proceso se denomina "Desasfaltización" y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 °C). El gas licuado extrae el aceite y queda un residuo semisólido llamado "bitumen".

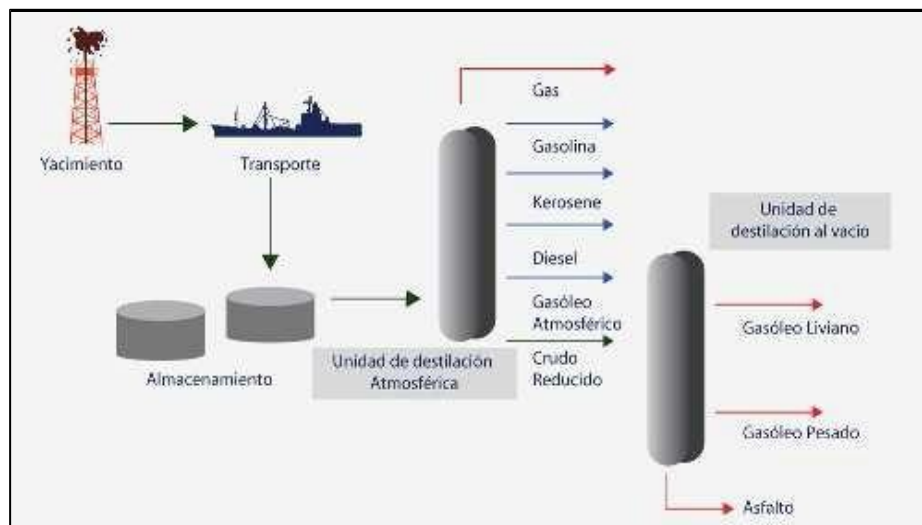


Figura 2.1 Obtención del Asfalto

Fuente: http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasf/Altos/proceso/

2.2.1.3. Composición del Asfalto

La composición química de los asfaltos es muy compleja, básicamente está constituida por cadenas de moléculas compuestas fundamentalmente por carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio.

La composición específica de un asfalto en particular dependerá de la procedencia del petróleo crudo del cual procede

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfaltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfaltenos, denominada máltenos. Las resinas contenidas en los máltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insolubles asfaltenos. Los máltenos y asfaltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

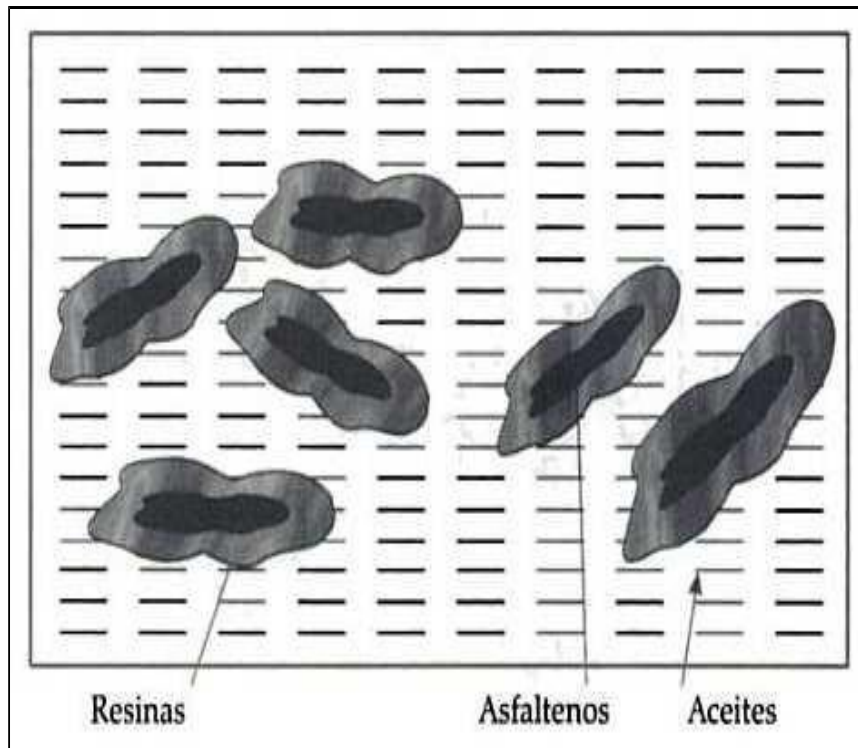


Figura 2.2 Esquema coloidal de Pfeiffer

Fuente: Hugo León Arenas, Tecnología del cemento asfáltico

2.2.1.4. Propiedades y características del asfalto de pavimentación

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

2.2.1.4.1. Durabilidad

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

2.2.1.4.2. Adhesión y cohesión

La adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión por otro lado, es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

2.2.1.4.3. Susceptibilidad a la temperatura

El asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia.

Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación.

Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

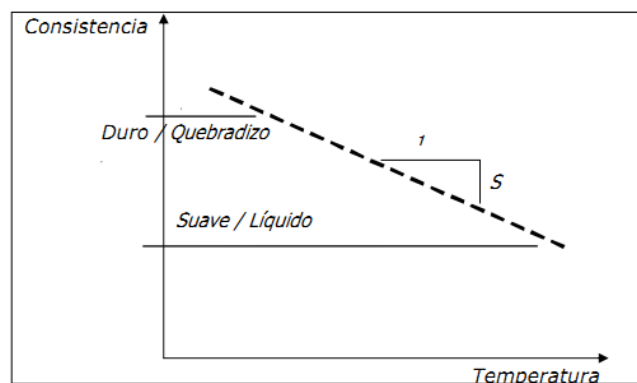


Figura2. 3 - Comportamiento del asfalto: Consistencia vrs. Temperatura

Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute.

La gráfica muestra como el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se le conoce como susceptibilidad térmica y es la pendiente de la recta (S).

2.2.1.4.4. Endurecimiento y envejecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado). El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas, mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa.

No todos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento.

2.2.1.5. Clasificación de los asfaltos de pavimentación

De acuerdo a la American Society for Testing and Materials (ASTM), los asfaltos de pavimentación se clasifican en tres grupos generales:

2.2.1.5.1. Cementos asfálticos: se dividen bajo tres diferentes sistemas, cada uno abarca diferentes grados con distintos rangos de consistencia.

2.2.1.5.1.1. Caracterización por penetración: se aplica la norma ASTM D- 946 (Clasificación Estándar por Grado de Penetración para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación). Esta abarca los siguientes grados de penetración:

- ✓ 40 – 50
- ✓ 60 – 70
- ✓ 85 – 100
- ✓ 120 – 150
- ✓ 200 – 300

Este método se efectúa dejando penetrar una aguja dentro de una muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que penetra la aguja en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200- 300 indica

que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro. Esta es una indicación de un asfalto “blando”, un grado 40- 50 es indicación de un asfalto “duro”.

2.2.1.5.1.2 Caracterización por viscosidad: se aplica la norma ASTM D- 3381 (Clasificación Estándar por Grado de Viscosidad para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación) clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican en:

- ✓ **AC- 5 (500 ± 100):** utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para riego de impregnación, riego de liga, en estabilizaciones y en mezclas asfálticas en caliente.
- ✓ **AC- 10 (1000 ± 200):** utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para carpetas y morteros de mezcla en frío.
- ✓ **AC- 20 (2000 ± 400):** utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezclas en frío.
- ✓ **AC- 30 (3000 ± 600):** utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones para carpetas y mezclas en frío

2.2.1.5.1.3. Caracterización por comportamiento: este sistema fue elaborado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos y propuesto en el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), aunque también está incluido en la norma ASTM D- 6373 (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento) incluye el conocimiento de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento en función de la temperatura del aire y la latitud geográfica.

2.2.1.5.2. Asfaltos rebajados: conocidos como asfaltos diluidos, son cementos asfálticos que han sido mezclados con solventes de petróleo. Existen tres clases:

2.2.1.5.2.1. Asfalto de curado rápido (RC): asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.

2.2.1.5.2.2 Asfalto de curado medio (MC): asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente como la kerosina de media volatilidad.

2.2.1.5.2.3. Asfalto de curado lento (SC): asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y aceites pesados de baja volatilidad.

2.2.1.5.3. Asfaltos emulsificados: es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua), en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser:

2.2.1.5.3.1. Emulsión aniónica: los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.

2.2.1.5.3.2. Emulsión catiónica: los glóbulos de asfalto están cargados positivamente

2.2.1.6. Usos del asfalto

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

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

Además el asfalto es utilizado en la industria impermeabilizante y de pinturas asfálticas, revestimiento de diques y canales y materia prima para las emulsiones asfálticas. El cemento asfáltico a temperatura ambiente, es semisólido y altamente viscoso, por lo que se requiere licuarlo temporalmente por calentamiento, para su manejo durante las operaciones de construcción, tales como bombeo por tubería, transporte de cisternas, mezcla con agregado, etc.

2.2.1.7. Control de calidad cementos asfálticos

Estas se basan en las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

| ENSAYO | AASHTO | ASTM |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Viscosidad | T - 201 T - 202 | D - 2170 D - 2171 |
| Penetración | T - 49 | D - 5 |
| Punto de Inflamación | T - 48 | D - 92 |
| Prueba de Película Delgada en Horno | T - 179 | D - 1754 |
| Ductilidad | T - 51 | D - 113 |
| Solubilidad | T - 44 | D - 2042 |
| Peso Específico | T - 228 | D - 70 |
| Punto de Ablandamiento | T - 53 | D - 3695 |

Tabla 2.1 - Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos.

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente

2.2.2. AGREGADOS PÉTREOS

2.2.2.1 Importancia del agregado en mezcla asfáltica

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente intervienen dos materiales indispensables que son los agregados pétreos y el asfalto los agregados por su parte son de gran importancia ya que en una mezcla asfáltica constituyen entre el 90 y el 95 por ciento en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen; cabe mencionar que la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica, específicamente en lo que se refiere a una buena distribución granulométrica.

2.2.2.2 Definición de agregado

Los agregados pétreos son materiales granulares sólidos inertes, usados para ser mezclados en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad soportante.

2.2.2.2.1 Tipos de agregado

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, los mismos se clasifican en los siguientes tipos:

- a) **Agregados Naturales.** Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento.
- b) **Agregados de Trituración.** Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales de canteras cuyas propiedades físicas sean adecuadas.
- c) **Agregados Artificiales.** Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.
- d) **Agregados Marginales.** Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

2.2.2.2.2 Conceptos más frecuentes relacionados a los agregados.

- ✓ **Agregado Grueso:** Agregado que pasa el tamiz de 3'' y queda retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4)
- ✓ **Agregado Fino:** Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el tamiz de 75µm (No. 200)
- ✓ **Polvo Mineral:** La porción de agregado fino que pasa el tamiz 75µm (No. 200)

- ✓ **Relleno Mineral:** Producto mineral finamente dividido en donde más del 70% pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200).
- ✓ **Agregado de Graduación Gruesa:** Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.
- ✓ **Agregado de Graduación Fina:** Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños finos.
- ✓ **Agregado Densamente Graduado:** Agregado con una distribución de tamaños de partícula, tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.
- ✓ **Agregado de Graduación Abierta:** Agregado que contiene poco o ningún llenante mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.
- ✓ **Agregado Bien Graduado:** Agregado cuya graduación va desde el tamaño máximo hasta el de un llenante mineral con el objeto de obtener una mezcla bituminosa con un contenido de vacíos controlado y alta estabilidad.

2.2.2.3 Clasificación de rocas

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas, y metamórficas (Tabla 2.1). Esta clasificación está basada en el tipo de formación de cada roca.

CLASIFICACION GENERAL DE ROCAS

| Clase | Tipo | Familia |
|---------------|---------------------------------|---|
| Sedimentarias | Calcáreas | Caliza Dolomita |
| | Silíceas | Arcilla Esquistosa Arenisca Horsteno Conglomerado ¹ Breccia ¹ |
| Metamórficas | Foliadas | Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra |
| | No Foliadas | Cuarcita Mármol Serpentina |
| Ígneas | Intrusivas (de grano grueso) | Granito ² Sienita ² Diorita ² Gabbro Periodotita Piroxenita Hornablendita |
| | Extrusivas (de grano fino) | Obsidiana Pómez Tufa Riolita ^{2,3} Traquita ^{2,3} Andesita ^{2,3} Basalto ² Diabasa |

¹También puede estar parcialmente, o completamente, compuesta de materiales calcáreos.

²Aparece, frecuentemente, como roca porfirítica.

³Se incluyen bajo el término general "felsita" cuando no se pueden determinar, cuantitativamente, los minerales constituyentes.

Tabla 2.2 - Clasificación de Agregados.
Fuente: Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

2.2.2.4 Clasificación y Producción de Agregados

2.2.2.4.1. Clasificación de los Agregados

Los agregados usados en pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales.

2.2.2.4.1.1 Agregados naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena.

2.2.2.4.1.2 Agregados procesados

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que son extraídas de canteras y que deben ser reducidas en tamaño en las plantas trituradoras, antes de ser usados en la pavimentación; de la calidad de las rocas que se explotan en las canteras dependerá la calidad de los agregados procesados y dispuestos para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

La roca es triturada por tres razones:

- 1) Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa,
- 2) Para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y
- 3) Para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

2.2.2.4.1.3. Agregados sintéticos

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria, y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste. Los agregados sintéticos han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes y cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

2.2.2.4.2. Producción de Agregados

Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al remover el suelo de destape (suelo que cubre el depósito) para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo de destape (o descapote) contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Puede que algún material de destape proporcione un relleno mineral aceptable; sin embargo, rara vez este material podrá producir una mezcla de agregado con la adecuada proporción de relleno mineral si tan solo se añade al depósito de agregado a medida que este es removido. En consecuencia,

cualquier material de destape que sea adecuado para ser usado como relleno mineral deberá ser removido del depósito, tamizado, y añadido posteriormente al agregado ya procesado.

2.2.2.5 Importancia de la reducción de agregado.

Después de haber seleccionado una muestra de agregado, a veces es necesario reducir su tamaño (volumen) a uno más conveniente para que pueda ser manejada y ensayada. Debido a que este proceso de reducción puede causar segregación, es necesario tener mucho cuidado para poder preservar la integridad de la muestra. La Figura 2.4 ilustra dos ejemplos de métodos de reducción. Generalmente, es preferible usar el partidador mecánico de muestras con agregados gruesos o agregados finos secos. Por otro lado, el cuarteo es el mejor método cuando la muestra de agregado está húmeda. La reducción de la muestra se hace en base al tamaño máximo nominal del agregado y de acuerdo a la norma AASHTO T 248-02 y su equivalente ASTM C 702-98 (2003), describe ambos métodos en detalle.

2.2.2.6 Propiedades de los agregados utilizados en Mezclas Asfálticas

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación.

Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- ✓ Graduación y tamaño máximo de partícula.
- ✓ Limpieza.
- ✓ Dureza.
- ✓ Forma de la partícula.
- ✓ Textura de la superficie.

- ✓ Capacidad de absorción.
- ✓ Afinidad con el asfalto.
- ✓ Peso específico.

Cada una de las propiedades mencionadas se describe a continuación.

2.2.2.6.1 Graduación y Tamaño Máximo de la Partícula

2.2.2.6.1.1 Graduación

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

2.2.2.6.1.2 Tamaño Máximo de Partícula

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

a) Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10% de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.

b) Tamaño Máximo del Agregado

Designado como el tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

2.2.2.6.1.3 Limpieza

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones

de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado de acuerdo a la norma AASHTO T 11-97 (2000) y su equivalente ASTM 117-95 (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075 mm (No. 200). El Ensayo “Finos Plásticos en Agregados Graduados y Suelos por el Uso del Ensayo del Equivalente de Arena” (AASHTO T 176-02) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

2.2.2.6.1.4 Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, compactación de la mezcla de pavimentación y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie; deben de tener mayor resistencia que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles (AASHTO T 96-2002, Equivalencia ASTM C-131-2001) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión.

2.2.2.6.1.5 Forma de la partícula

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente con partículas de bordes

puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración. Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales.

La prueba de laboratorio más utilizada para medir la forma de las partículas es conocida como “cubicidad de las partículas” (Normas: ASTM D 692). Este método comprende el procedimiento de laboratorio para determinar las partículas chancadas (caras fracturadas), rodadas y lajeadas de la fracción retenida en la malla N° 4 (4.75 mm) de un pétreo.

2.2.2.6.1.6 Textura superficial

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

2.2.2.6.1.7 Capacidad de absorción

Normas: (Agregado grueso: AASHTO T 85-91 y ASTM C 127-88 (1993). Agregado fino: AASHTO T 84-00 y ASTM C 128-97).

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades muchos mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los haga deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos.

Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

2.2.2.6.1.8 Afinidad con el Asfalto

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, y las rocas trapecanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

No es muy claro por qué los agregados hidrofóbicos e hidrofílicos se comportan de tal manera. A pesar de esto, existen varios ensayos para determinar su afinidad con el asfalto y su tendencia al desprendimiento. En uno de estos ensayos, la mezcla de

agregado-asfalto, sin compactar, es sumergida en agua y las partículas cubiertas son observadas visualmente.

En otro ensayo, comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, dos muestras de mezcla son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias. La diferencia en resistencia es considerada un indicativo de la susceptibilidad del agregado al desprendimiento.

2.2.2.6.1.9 Peso Específico

(Norma: ASTM D 70, AASHTO T 228)

El peso específico de un agregado (también conocido como gravedad específica) es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso. Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen).

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es: que este ayuda en el cálculo de porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conformará la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

2.2.2.7 Requisitos que deben cumplir los agregados

2.2.2.7.1 Agregado Grueso.

Este material debe consistir en piedra o grava de buena calidad triturada (Retenidos en la malla de 4.75 mm) y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados y llene además los requisitos generales siguientes:

- ✓ Abrasión de los Ángeles, AASHTO T 96 35% máx.
- ✓ Sanidad en sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T 104 10% máx.
- ✓ Caras fracturadas, ASTM D 5821 75% mín.
- ✓ Índice durabilidad (agregado grueso), AASHTO T 210 35% mín.
- ✓ No deben usarse agregados con caras pulidas o agregados que contengan carbonato soluble. El residuo insoluble debe ser menor del 25%, de acuerdo a ASTM D 3042.

2.2.2.7.2. Agregado Fino

Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra quebrada cernida, o su combinación y deberá tener una granulometría que (material que pasa la malla 4.75 mm), al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante puede satisfacer la granulometría requerida según AASHTO M 29 incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos generales siguientes:

- Equivalente de arena, AASHTO T 176 45% mín.
- Índice de durabilidad (fino), AASHTO T 210 35% min

2.2.2.7.2.1 Especificaciones para agregado fino en mezclas de pavimentos bituminosos, según AASHTO M 29.

La graduación del agregado fino será conforme a la graduación en la Tabla 2.2 para el número de graduación especificado en la orden, u otra graduación designada por el comprador.

| Tamaño de tamiz | | Cantidad más fina que cada tamiz de laboratorio (Aberturas cuadradas), Masa, % | | | | |
|-----------------|---------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | Graduación No. 1 | Graduación No. 2 | Graduación No. 3 | Graduación No. 4 | Graduación No. 5 |
| 3/8" | 9.5 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 | 600µm | 20 a 65 | 28 a 52 | 65 a 90 | 20 a 65 | 20 a 65 |
| No. 50 | 30µm | 7 a 40 | 8 a 30 | 30 a 60 | 7 a 40 | 7 a 46 |
| No. 100 | 150µm | 2 a 20 | 0 a 12 | 5 a 25 | 2 a 20 | 2 a 30 |
| No. 200 | 75µm | 0 a 10 | 0 a 5 | 0 a 5 | 0 a 10 | — |

Tabla 2. 3 - Requerimientos de Graduación para agregados Finos

Fuente: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, Secretaria de Integración Económica Centroamericana.

2.2.2.7.3 Granulometría de agregados combinados (finos y gruesos).

Consiste en la combinación de diferentes tamaños de agregado, que debe llenar los requisitos siguientes:

Granulometría

Tabla 2.3

Grumos de arcilla y partículas friables, AASHTO T 112 1% máx.

Libre de materiales vegetales, basura, terrones, arcilla y sustancias deletéreas.

| Tamiz | Porcentaje de masa pasando, Designación de tamices (AASHTO T 27 y AASHTO T 11) | | | | | |
|---------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | Designación de la Graduación | | | | | |
| | A | B | C | D | E | F |
| 37.5 mm | 100 ⁽¹⁾ | | | | | |
| 25.0 mm | 97-100 ⁽¹⁾ | 100 ⁽¹⁾ | 100 ⁽¹⁾ | | | |
| 19.0 mm | — | 97-100 ⁽¹⁾ | 97-100 ⁽¹⁾ | 100 ⁽¹⁾ | 100 ⁽¹⁾ | |
| 12.5 mm | — | 76-88 ⁽⁵⁾ | * ⁽⁵⁾ | 97-100 ⁽¹⁾ | 97-100 ⁽¹⁾ | |
| 9.50 mm | 53-70 ⁽⁶⁾ | — | * ⁽⁶⁾ | — | * ⁽⁵⁾ | 100 ⁽¹⁾ |
| 4.75 mm | 40-52 ⁽⁶⁾ | 49-59 ⁽⁷⁾ | * ⁽⁷⁾ | 57-69 ⁽⁶⁾ | * ⁽⁶⁾ | 33-47 ⁽⁶⁾ |
| 2.36 mm | 25-39 ⁽⁴⁾ | 36-45 ⁽⁵⁾ | * ⁽⁵⁾ | 41-49 ⁽⁶⁾ | * ⁽⁶⁾ | 7-13 ⁽⁴⁾ |
| 600 µm | 12-22 ⁽⁴⁾ | 20-28 ⁽⁴⁾ | * ⁽⁴⁾ | 22-30 ⁽⁴⁾ | * ⁽⁴⁾ | — |
| 300 µm | 8-16 ⁽³⁾ | 13-21 ⁽³⁾ | * ⁽³⁾ | 13-21 ⁽³⁾ | * ⁽³⁾ | — |
| 75 µm | 3-8 ⁽²⁾ | 3-7 ⁽²⁾ | 3-8 ⁽²⁾ | 3-8 ⁽²⁾ | 3-8 ⁽²⁾ | 2-4 ⁽²⁾ |

(1) Procedimientos estadísticos no aplican.

* El contratante especifica el valor del rango y límites.

() Desviación permisible (±) de el rango de valores.

Tabla 2.4 - Rango de Valores para Graduación de Agregados para Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente.

Fuente: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, Secretaria de Integración Económica Centroamericana.

| DESIGNACIÓN DE TAMICES | GRADACIÓN DE LOS AGREGADOS | | | | |
|---------------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| | A | B | C | D | E |
| 2" | 100 | --- | --- | --- | --- |
| 1 ½" | 97 - 100 | 100 | --- | --- | --- |
| 1" | --- | 97 - 100 | 100 | --- | --- |
| ¾" | 66 - 80 (5) | --- | 97 - 100 | 100 | --- |
| ½" | --- | --- | 76 - 88 (5) | 97 - 100 | 100 |
| 3/8" | 48 - 60 (6) | 53 - 70 (6) | --- | --- | 90-100 |
| No. 4 | 33 - 45 (5) | 40 - 52 (6) | 49 - 59 (7) | 57 - 69 (6) | 55-85 |
| No. 8 | 25 - 33 (4) | 25 - 39 (4) | 36 - 45 (5) | 41 - 49 (6) | 32-67 |
| No. 16 | --- | --- | --- | --- | 23-52 |
| No. 30 | --- | --- | --- | --- | 15-37 |
| No. 40 | 9 - 17 (3) | 10 - 19 (3) | 14 - 22 (3) | 14 - 22 (3) | --- |
| No. 50 | --- | --- | --- | --- | 7- 23. |
| No. 100 | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. 200 | 3 - 8 (2) | 3 - 8 (2) | 3 - 7 (2) | 3 - 8 (2) | --- |
| Bitúmen soluble | 4.0- 7.0 | 4.5- 7.5 | 4.5- 9.0 | 4.5 - .0 | |

Tabla 2.5 - Requisitos de la gradación de agregados
Fuente: Manual de Carreteras Volumen 4 de Administración Boliviana de Caminos

2.2.2.8 Especificaciones sobre Agregados pétreos

Estas se basan en las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

| ENSAYO | AASHTO | ASTM |
|---|------------|------------|
| Muestreo del agregado mineral. | AASHTO T 2 | ASTM D 75 |
| Ensayo de Densidad, Densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de agregados finos. | | ASTM C 128 |
| Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos. | | ASTM C 127 |

| | | |
|---|-------------|-------------|
| Análisis granulométrico de los agregados. | AASHTO T 27 | ASTM C 136 |
| Análisis granulométrico de los agregados finos. | AASHTO 11 | ASTM C 117 |
| Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregado fino. | AASHTO 176 | ASTM D 2419 |
| Ensayo a la abrasión del agregado grueso | AASHTO T 96 | ASTM C 131 |

Tabla 2. 6 - Normas AASHTO y ASTM aplicables para agregados
Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente

2.2.3. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

2.2.3.1. Definición de mezcla asfáltica.

Las mezclas asfálticas, es material que está formada por una combinación de agregados pétreos, ligante asfáltico, y aditivo en algunos casos; de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. 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 de la carpeta de rodadura y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto.

2.2.3.2. Características de la mezcla asfáltica

2.2.3.2.1. Densidad

Es una característica muy importante, la que está definida para la mezcla asfáltica compactada como su peso unitario. Es esencial obtener una densidad alta para obtener un rendimiento duradero.

Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio, debido a que no siempre se logra una compactación in – situ con las densidades que se obtienen en el laboratorio.

2.2.3.2.2. Vacíos de Aire

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada.

El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y bacheos es del 3 al 5 %, dependiendo del diseño específico.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta es la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa. El rango de vacíos dado por el criterio de diseño, está basado en numerosas investigaciones que muestran que el desempeño de la mezcla depende fundamentalmente del contenido de vacíos tras 2 a 3 años de servicio:

- Vacíos en la Mezcla inferiores al 3% tienden a producir inestabilidad y exudación.
- Vacíos en la Mezcla mayores al 5% producen mezclas permeables al aire y agua, por lo que son propensas a sufrir envejecimiento prematuro y posterior desintegración por oxidación prematura.

Las especificaciones en las obras generalmente requieren una densidad que permita acomodar el menor número posible de vacíos; menos del 8%.

Existe consenso en que niveles mayores al 8% dan lugar a mezclas muy permeables al aire y agua, resultando en oxidación prematura, desprendimiento y desintegración.

2.2.3.2.3. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. Cuanto mayor sea el VMA, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Cuyos valores se basan en el hecho de que, cuanta más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

El rango de valores entre los que oscila se muestra en la tabla N° 2.7.

Tabla 2. 7 VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (Requisitos de VMA)

| Tamaño máximo Nominal ² Porcentaje | | VMA mínimo, por ciento ³ | | |
|--|-------|---|------|------|
| | | Vacíos de diseño, por ciento ¹ | | |
| mm | in | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
| 1.18 | Nº 16 | 21.5 | 22.5 | 23.5 |
| 2.36 | Nº 8 | 19 | 20 | 21 |
| 4.75 | Nº 4 | 16 | 17 | 18 |
| 9.5 | 3/8 | 14 | 15 | 16 |
| 12.5 | ½ | 13 | 14 | 15 |
| 19 | ¾ | 12 | 13 | 14 |
| 25 | 1.0 | 11 | 12 | 13 |
| 37.5 | 1.5 | 10 | 11 | 12 |
| 50 | 2.0 | 9.5 | 10.5 | 11.5 |
| 63 | 2.5 | 9.0 | 10 | 11 |

1 Especificación Norma para tamaños de tamices usados en pruebas ASTM E 11 (AASHTO M 92)

2 El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10% del material.

3 Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Fuente: Serie de Manuales Nº 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figura 3.2, Pág. 59

2.2.3.2.4. Contenido de Asfalto Pb

El contenido de asfalto de una mezcla en particular, se establece usando los criterios que se encuentren contemplados de acuerdo al método de diseño escogido, pudiendo ser el Método Marshall o el Hveem que son los que comúnmente se eligen.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción.

La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la granulometría de la mezcla, mayor será la superficie total, y mayor será la cantidad de asfalto necesario para cubrir las partículas uniformemente. Inversamente, las mezclas más gruesas (agregados más grandes), requieren menos asfalto pues tienen menor área superficial.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más notable cuando es relleno mineral (fracciones muy finas del agregado que pasan a través del tamiz N° 200).

Los técnicos hablan de 2 tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido:

Contenido total de asfalto

Contenido efectivo de asfalto.

El Contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser agregada a la mezcla para producir las cualidades deseadas.

El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. Este se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

2.2.3.3. Tipos de mezcla asfáltica

2.2.3.3.1. Tipos de mezcla asfáltica según distintas variables.

Se entiende como mezcla el material heterogéneo, obtenido por la unión íntima de agregados, filler² y ligante hidrocarbonado, quedando una masa con mayor o menor contenido de aire.

Las Mezclas Asfálticas en Caliente, se clasifican de acuerdo a diferentes criterios.

A continuación se muestra a manera de información general las diferentes clasificaciones:

- Según la granulometría:
 - a) Mezclas de gradación fina
 - b) Mezclas de gradación densa
 - c) Mezclas de gradación gruesa
 - d) Mezclas de gradación abierta.

- Según el porcentaje de huecos en la mezcla:
 - a) Mezclas abiertas: huecos mayores al 5%
 - b) Mezclas cerradas: huecos menores al 5%

- Según el método constructivo:
 - a) Mezclas en el lugar o mezclas en frío.
 - b) Mezclas en planta.

- Según la temperatura de colocación:
 - a) Mezclas en Caliente
 - b) Mezclas en Frío

2.2.3.3.2 Mezclas asfálticas en caliente

Consiste en mezclar el agregado pétreo y el cemento asfáltico a alta temperatura (135 a 165 °C), son las de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas.

Los materiales que contiene son:

- Agregados

Debe ser grava o combinaciones de grava sin triturar y arena, procedente de rocas duras y resistentes, no debe contener arcilla en terrones ni como película adherida a los granos; y debe estar libre de todo material orgánico.

El agregado se clasifica en: grueso, fino y polvo mineral.

El agregado grueso es la fracción del agregado que queda retenida en la malla N° 8 y no debe tener más de 5%, de su peso, de partículas planas y achatadas, el porcentaje de desgaste (Ensayo de los Ángeles), no debe ser mayor de 50%.

El agregado fino es la fracción que pasa la malla N° 8 y se retiene en la N° 200.

Debe estar constituido por arena o residuos de grava, en forma de granos limpios y duros. En esta fracción también suele incluirse el Relleno Mineral, cuyas partículas pasan el tamiz N°30.

El polvo mineral es la fracción del agregado que pasa la malla N° 200.

El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente es el pavimento asfáltico de mejor calidad y se compone de una mezcla de agregados gradados y asfalto, realizada a una temperatura aproximada de 150 °C colocada y compactada en caliente. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de calentar y secar los agregados, los separa en diferentes

grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los camiones transportadores, éstos a su vez, la colocan en el lugar a realizar el tipo de mantenimiento, después de lo cual se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva alta.

Para la construcción de este tipo de pavimento se usan cementos asfálticos de penetración 60-70 (AC-20), y 85-100 (AC-10).

2.2.3.3.3 Mezclas asfáltica en frío

En estas mezclas se usan asfaltos líquidos, la cual se efectúa sin calentar los agregados y el asfalto se calienta a una temperatura relativamente baja, solo para obtener la viscosidad necesaria de mezclado.

Los concretos asfálticos en frío son mezclas utilizadas como carpeta de rodamiento en la pavimentación.

Se obtienen de la dosificación de agregados gruesos, finos, filler, emulsión asfáltica y agua.

Estas mezclas poseen capacidad portante, por esta razón es que se considera su aporte en el paquete estructural.

Los agregados gruesos son exclusivamente provenientes de trituración. Los agregados finos, conviene que provengan de la mezcla de arenas de trituración, que ofrecen la trabazón necesaria, y arenas silíceas naturales que le otorgan trabajabilidad a la mezcla.

El filler puede ser cualquiera de los comúnmente utilizados en mezclas asfálticas, tales como cemento, cal, etc.

Son ideales para la pavimentación urbana de arterias que serán sometidas a un bajo volumen de tránsito y en donde ese tránsito será casi exclusivamente de automóviles.

Se recomienda su puesta en obra a temperaturas no inferiores a los 20°C ni superiores a los 40 °C.

Este tipo de mezclas actualmente se ha dejado de emplear por su baja durabilidad y que debido a los volúmenes de tránsito requieren de un mayor período de mantenimiento.

2.2.4. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

Los métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente más utilizados internacionalmente son los que se mencionan a continuación:

Método Marshall

Método Hveem

Superpave

De estos métodos, el más utilizado en nuestro país es el Método Marshall, debido a que el equipo utilizado es de costo relativamente bajo y portátil por lo que generalmente las especificaciones técnicas de diseño lo utilizan.

El método Marshall y el Hveem, se fundamentan en una lógica de prueba y error, en donde midiendo ciertas características de la mezcla de diseño, se pueden suponer las cualidades de la mezcla en su colocación y acabado. Las cualidades de la mezcla están en función de sus características, lo cual puede esquematizarse como sigue: $F(X) = Y$

$$F \left(\begin{array}{l} \bullet \text{ Densidad de la mezcla} \\ \bullet \text{ Vacíos de aire} \\ \bullet \text{ Vacíos en el agregado} \\ \text{mineral} \\ \bullet \text{ Contenido de asfalto} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \bullet \text{ Estabilidad} \\ \bullet \text{ Durabilidad} \\ \bullet \text{ Impermeabilidad} \\ \bullet \text{ Trabajabilidad} \\ \bullet \text{ Flexibilidad} \\ \bullet \text{ Resistencia a la fatiga} \\ \bullet \text{ Resistencia al deslizamiento} \end{array} \right)$$

En ambos métodos es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación. La dosificación será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de

variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem.

Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

2.2.4.1. Propiedades físicas de las mezclas asfálticas

Para obtener una mezcla de calidad, esta debe poseer las propiedades siguientes: Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la Fatiga, Resistencia al Deslizamiento, Impermeabilidad y Trabajabilidad.

2.2.4.1.1. Estabilidad

Es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito. La carpeta asfáltica debe de ser capaz de mantener su forma y textura ante las secuencias de carga que a diario le son impuestas. La fricción interna depende de la textura superficial, graduación del agregado, forma de la partícula, densidad de la mezcla, y, del contenido y tipo de asfalto. La estabilidad es función de la fricción y la resistencia inter-bloqueada del agregado en la mezcla.

Los problemas clásicos debido a una estabilidad baja son:

- ✓ *Ahuellamiento*: consiste en una depresión continua a lo largo de la capa de rodadura. Las cargas repetitivas de tránsito conducen a deformar permanentemente cualquier capa que componen la estructura del pavimento, sin embargo cuando la carpeta asfáltica recién colocada presenta ahuellamiento es debido al exceso de asfalto en la mezcla.
- ✓ *Corrimiento*: desplazamiento de la mezcla asfáltica provocando distorsiones en la superficie de la carpeta asfáltica.
- ✓ *Exudación del asfalto*: es el afloramiento del asfalto o ligante asfáltico hacia la superficie de la carpeta asfáltica.

2.2.4.1.2. Durabilidad

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

2.2.4.1.3 Flexibilidad

Es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamiento, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y sub-base. Los asentamientos en el pavimento pueden ocurrir debido a que falle cualquiera de sus componentes. Provocando daños visibles en la carpeta de rodadura. De hecho, todas las estructuras tienden a tener asentamientos diferenciales. La flexibilidad de las mezclas asfálticas es incrementada agregando mayor contenido de asfalto, hasta llegar al contenido óptimo, a partir de este, si se aumenta en exceso el contenido de asfalto la carpeta tiende a ser extremadamente flexible y provoca entonces una mezcla con estabilidad baja.

2.2.4.1.4. Resistencia a la fatiga

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir la flexión repetida causada por las cargas de tránsito. Si el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del

pavimento disminuye. Por tal razón, las mezclas asfálticas de graduación densa presentan mayor resistencia a la fatiga que las mezclas asfálticas de graduaciones abiertas. El envejecimiento y endurecimiento del asfalto en la carpeta de rodadura da como resultado menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, influyen determinantemente en la vida útil de una carpeta de rodadura asfáltica.

2.2.4.1.5. Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad de una carpeta asfáltica, particularmente cuando esta mojada, de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Esto implica que el neumático debe mantenerse en contacto con las partículas del agregado y no sobre una película de agua en la superficie del pavimento, conocido como hidroplaneo.

Una buena resistencia al deslizamiento lo contribuyen agregados con textura áspera y contenidos adecuados de asfalto. Los contenidos altos de asfalto producen mezclas inestables las cuales tienden a deformarse y exudar, generando así, mayor deslizamiento.

2.2.4.1.6. Impermeabilidad

Es la resistencia de una carpeta asfáltica al paso del aire y agua hacia su interior o a través de él. El contenido de vacíos puede ser una indicación a la susceptibilidad de una mezcla compactada al paso del agua y el aire.

2.2.4.1.7. Trabajabilidad

Es la facilidad con la cual una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. El asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, sí tiene algún efecto sobre esta propiedad.

02.2.4.2. Características de la mezcla método Marshall

Un factor que debe ser tomado en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el de las *proporciones volumétricas* del asfalto y de los componentes del agregado; o más simplemente, *parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica*.

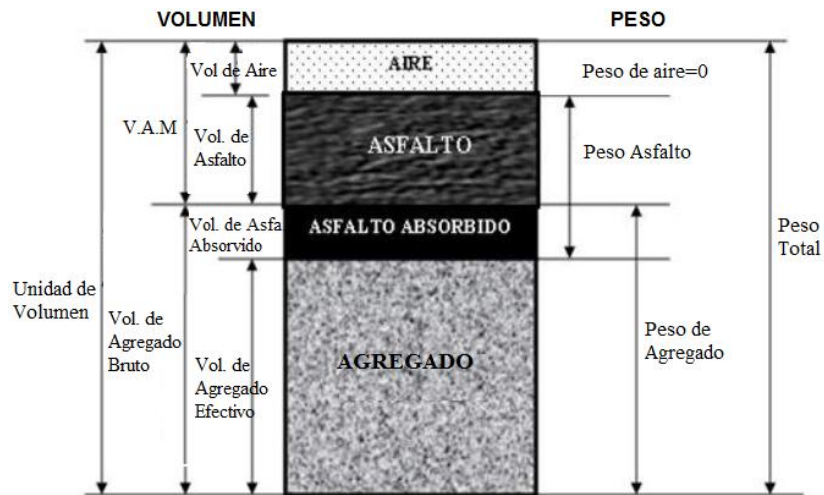


Figura 2.4 - Representación de la composición típica de una mezcla asfáltica.

Fuente: Strategic Highway Research Program SHRP A-369, 1994.

Las propiedades volumétricas de una mezcla de pavimento compactado (vacíos de aire (VTM); vacíos en el agregado mineral (VMA); vacíos llenados con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo (P_{be}) y de la densidad o gravedad específica bulk (G_{mb}) proporcionan una indicación del probable funcionamiento de la mezcla asfáltica.

2.2.4.2.1. Densidad

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrará en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable.

2.2.4.2.2. Vacíos de aire (V.T.M.)

Están presentes entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 3% y 5%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico. A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica. Por otra parte un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla. En campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 8%.

2.2.4.2.3. Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Son los espacios de aire que existen de entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir el VMA es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el VMA es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anteriormente descrito existen valores mínimos de VMA recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyamos los valores de VMA establecidos como mínimos, siendo esto

completamente perjudicial y dañino para la calidad de la carpeta asfáltica, obteniéndose películas delgadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca

2.2.4.2.4. Vacíos Llenos de Asfalto VFA

Son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando su valor como un porcentaje.

2.2.4.2.5. Contenido de asfalto

El contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran medida de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas. Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (No. 200)) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca.

2.2.4.3. Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios, pero esencialmente depende es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. El rango de vacíos de aire es de 3% al 5%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas. 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.

| CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL | TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE | | TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE | | TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE | |
|---|--|--------|--|--------|---|--------|
| | MINIMO | MAXIMO | MINIMO | MAXIMO | MINIMO | MAXIMO |
| Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta | 35 | 35 | 50 | 50 | 75 | 75 |
| Estabilidad N(lb) | 336(750) | - | 5358(1200) | - | 8006(1800) | - |
| Flujo(0.01pulg) | 8 | 18 | 8 | 16 | 8 | 14 |
| % de vacíos | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 |
| % VMA | Ver tabla siguiente | | | | | |
| % VFA | 70 | 80 | 65 | 78 | 65 | 75 |

NOTA.

¹Todos los criterios y no solo estabilidad, deben ser considerados al diseñar una mezcla asfáltica de pavimentación. Las mezclas asfálticas en caliente de base que no cumplan estos criterios, cuando se ensayen a 60°C, se consideraran satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayen a 38°C, y si se colocan a 100 mm o más por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica solamente a las regiones que tengan una variedad de condiciones climáticas similar a la que prevalece en casi todas las regiones de Estados Unidos. En las regiones que tengan condiciones climáticas mas extremas puede ser necesario usar temperaturas más bajas de ensayo.

² Clasificaciones del Transito Liviano Condiciones de transito que resultan en un ESAL de diseño < 104. Mediano Condiciones de transito que resultan en un ESAL de diseño entre 104 y 106 Pesado Condiciones de transito que resultan en un ESAL de diseño > 106

³ Los esfuerzos de compactación en el laboratorio deberán aproximarse a la densidad máxima obtenida en el pavimento bajo el transito.

⁴ Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir.

⁵ Cuando se esté calculando el porcentaje de vacíos, deberá permitirse cierta tolerancia en la porción de cemento asfáltico perdida por absorción en las partículas de agregado.

⁶ El porcentaje de vacíos en el agregado mineral debe ser calculado con base en el peso específico total ASTM del agregado.

Tabla 2. 8 - Criterios del Instituto del Asfalto para el Diseño Marshall
Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente,
MS 22, Asphalt Institute

| TAMAÑO MÁXIMO EN PORCENTAJE | | VMA MÍNIMO, POR CIENTO | | |
|--------------------------------------|----------|---|-------------|-------------|
| | | Vacíos de Diseño, por ciento ³ | | |
| mm | pulg | 3 | 4 | 5 |
| 11,8 | No. 16 | 21,5 | 22,5 | 23,5 |
| 23,6 | No. 8 | 19,0 | 20,0 | 21,0 |
| 47,5 | No. 4 | 16,0 | 17,0 | 18,0 |
| 9,5 | 3/8 | 14,0 | 15,0 | 16,0 |
| 12,5 | ½ | 13,0 | 14,0 | 15,0 |
| 19,0 | ¾ | 12,0 | 13,0 | 14,0 |
| 25,0 | 1 | 11,0 | 12,0 | 13,0 |
| 37,5 | 1,5 | 10,0 | 11,0 | 12,0 |
| 50,0 | 2 | 9,5 | 10,5 | 11,5 |
| 63,0 | 2,5 | 9,0 | 10,0 | 11,0 |

Nota.

¹ Especificación Normal para Tamaño de Tamices usados en Pruebas
AASHTO M 92 (ASTM E 11).

² El tamaño máximo nominal de la partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más del 10% del material.

³ Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están listados.

Tabla 2. 9 - Porcentaje Mínimo de VMA

Fuente: Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

CAPÍTULO III

INVESTIGACION SOBRE EL EFECTO DE LAS ARENAS EN MEZCLAS ASFALTICAS CONVENCIONALES

3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL

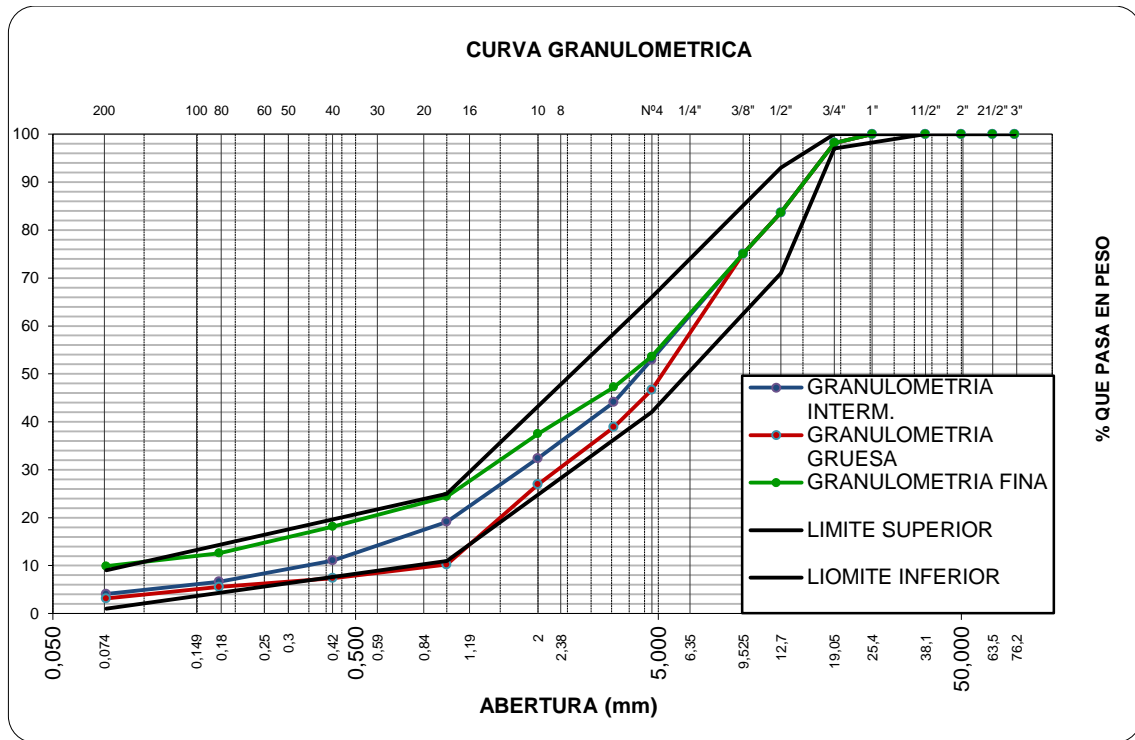
A continuación se presentan tres granulometrías de material pétreo triturado y tres de material pétreo natural, escogidas para el desarrollo de los ensayos de laboratorio, se compactaran y se medirán según el método de dosificación Marshall con grado de compactación constante de 75 golpes. En cada granulometría se determinará y se evalúa las propiedades volumétricas, estabilidad, flujo. Siendo estas con el mismo contenido óptimo de 5,5% de asfalto tomado para cada granulometría, se dosifica y se compacta por el Método Marshall mezcla asfáltica convencional, para luego evaluar el efecto granulométrico en el comportamiento del empaquetamiento de las partículas de las mezclas asfálticas.

La tabla 3.1 describe las tres granulometrías de material pétreo triturado teóricas utilizadas en el programa experimental.

| Tamiz ("/No) | Abert. (mm) | Granulom. Combinada con (ARENA TRIT. GRUESA) | Granulom. Combinada con (ARENA TRIT. MEDIA) | Granulom. Combinada (ARENA TRIT. FINA) |
|--------------|-------------|--|---|--|
| | | % Pasa | % Pasa | % Pasa |
| 1 " | 25,4 | 100 | 100 | 100 |
| 3/4" | 19,05 | 98,18 | 98,18 | 98,18 |
| 1/2 " | 12,7 | 83,65 | 83,65 | 83,65 |
| 3/8" | 9,53 | 75,03 | 75,03 | 75,03 |
| Nº4 | 4,75 | 46,25 | 51,8 | 53,25 |
| Nº10 | 3,56 | 38,33 | 44,83 | 47,95 |
| Nº16 | 2 | 27,09 | 35,39 | 38,39 |
| Nº40 | 1 | 10,45 | 22,35 | 24,63 |
| Nº50 | 0,42 | 7,94 | 15,59 | 17,87 |
| Nº80 | 0,18 | 6,1 | 10,63 | 12,4 |
| Nº200 | 0,075 | 3,68 | 6,58 | 10,08 |
| Pasa | | 0 | 0 | 0 |

Tabla-3.1 Granulometrías para ensayos de material pétreo triturado y porcentaje que pase cada tamiz

Fuente: Elaboración Propia



Grafica 3.1 - Granulometría experimental de material pétreo triturado: Convencional

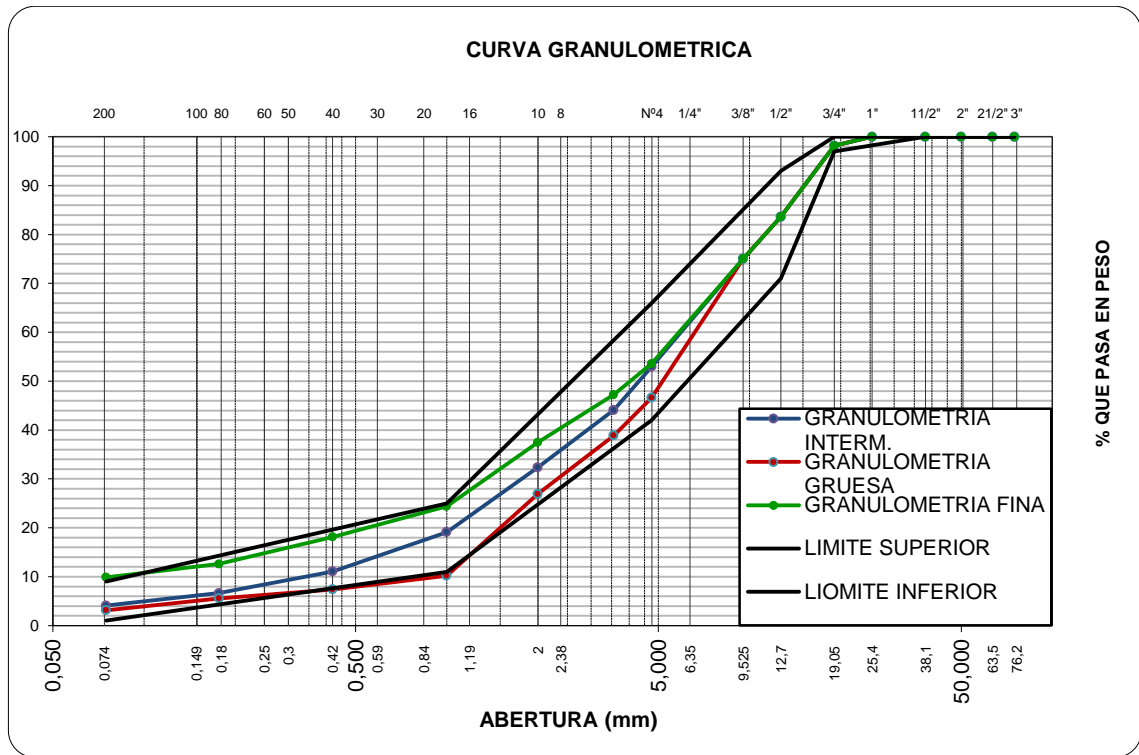
Fuente: Elaboración Propia

La tabla 3.2 describe las tres granulometrías de material pétreo natural utilizadas en el programa experimental.

| Tamiz ("/No) | Abert. (mm) | Granulom. combinada (ARENA NATURAL GRUESA) | Granulom. combinada (ARENA NATURAL MEDIA) | Granulom. combinada (ARENA NATURAL FINA) |
|--------------|-------------|--|---|--|
| | | % Pasa | % Pasa | % Pasa |
| 1" | 25,4 | 100 | 100 | 100 |
| 3/4" | 19,05 | 98,18 | 98,18 | 98,18 |
| 1/2 " | 12,7 | 83,65 | 83,65 | 83,65 |
| 3/8" | 9,53 | 75,03 | 75,03 | 75,03 |
| N°4 | 4,75 | 46,63 | 52,95 | 53,6 |
| N°10 | 3,56 | 38,88 | 44,1 | 47,23 |
| N°16 | 2 | 26,94 | 32,39 | 37,49 |
| N°40 | 1 | 10,23 | 19,13 | 24,4 |
| N°50 | 0,42 | 7,39 | 11,07 | 18,14 |
| N°80 | 0,18 | 5,55 | 6,65 | 12,6 |
| N°200 | 0,075 | 3,13 | 4,08 | 9,88 |
| Pasa | | 0 | 0 | 0 |

Tabla-3.2 - Granulometrías para ensayos de material pétreo natural y porcentaje que pase cada tamiz

Fuente: Elaboración Propia



Grafica 3.2 - Granulometría experimental de material pétreo natural: Convencional

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Muestreo de materiales

3.2.1 Materiales pétreos

Los materiales pétreos que se utilizaron para la elaboración de la mezcla asfáltica, provienen de bancos de materiales “VAFERCOM” ubicado en la comunidad Tolomosa con coordenadas geodésicas 21°37’36.75” S 64°46’1.24” O H=1912 m.s.n.m., “ERIKA” ubicado en la comunidad de Rancho sud con coordenadas geodésicas 21°28’22.42” S 64°45’18.51” O H=1912 m.s.n.m. y “SAN JOSE DE CHARAJA” ubicado en la comunidad de Juntas con coordenadas geodésicas 21°46’56.60” S 64°46’09.57” O H=1834 m.s.n.m. en el departamento de Tarija. El

afloramiento del material que presentan estos bancos es de roca triturada seleccionada en tres fuentes de áridos, grava, gravilla y arena.



Figura-3.1 - Banco de material “VAFERCON”

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.2 - Banco de material “ERIKA”

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.3- Banco de material “CHARAJA”

Fuente: Elaboración propia

Como también los áridos naturales que se utilizaron, provienen de los ríos “Tolomosa” con coordenadas geodésicas $21^{\circ}37'36.75''$ S $64^{\circ}46'1.24''$ O “Guadalquivir” con coordenadas geodésicas $21^{\circ}28'22.42''$ S $64^{\circ}45'18.51''$ y “Camacho” con coordenadas geodésicas $21^{\circ}46'56.60''$ S $64^{\circ}46'09.57''$ O que se encuentran también ubicados en el departamento de Tarija.



Figura- 3.4 - Banco de material “Rio Tolomosa”

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.5 - Banco de material “Rio Guadalquivir”

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.6 - Banco de material “Rio Camacho”

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Materiales asfálticos

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

3.3 Caracterización de materiales pétreos

3.3.1 Angularidad del agregado grueso ASTM D 5821

3.3.1.1 Objetivo

- ✓ Uno de los propósitos de esta estimación es maximizar la resistencia al corte mediante el incremento de la fricción entre partículas de las mezclas de agregado.
- ✓ Otro propósito es proveer estabilidad para tratamientos superficiales de agregados mediante el incremento de la fricción y textura del agregado utilizado carpetas asfálticas delgadas.

3.3.1.2 Equipo y materiales

- ✓ Juego de Tamices
- ✓ Cuarteador mecánico
- ✓ Balanza de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 gr.
- ✓ Espátula

3.3.1.3 Procedimiento

- ✓ Esparza la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario lave el agregado sucio. Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.
- ✓ Separe con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas.

Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada

cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las producidas por procedimientos mecánicos.

Pese las partículas fracturadas y anote este valor



Figura-3.7- Separando las partículas fracturadas y no fracturadas

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.8- Inspección y detección de las partículas fracturadas.

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.9– Peso de partículas fracturadas

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.4 Cálculo y resultados

- ✓ Anote el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños antes especificados.
- ✓ Anote el peso del material con caras fracturadas para cada tamaño.
- ✓ Finalmente calcule el porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño:

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

A: Peso exacto de las muestras tomadas para el ensayo (g).

B: Peso del material con caras fracturadas para cada tamaño (g).

P: Porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño (%).

| Procedencia del Agregado : "San Jose de charara" | | Grava 3/4" | Grava 3/8" |
|---|-----------|---------------|------------|
| Peso total de la muestra (g) | A | 1000 | 1000 |
| Peso total de caras fracturadas (g) | B | 956,5 | 995,5 |
| % de caras fracturas | P=B/Ax100 | 95,7 | 99,5 |

Tabla-3.3 - Resultado de porcentaje de caras fracturadas grava 3/4" y grava3/8"

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Partículas largas y achatadas ASTM D 4791

3.3.2.1 Objetivo

- ✓ Este método de prueba provee un medio para verificar el cumplimiento con las especificaciones que limitan tales partículas, o para determinar las características relativas a la forma del agregado grueso.
- ✓ Las partículas de agregado planas o alargadas, para algunos usos en construcción, pueden interferir con la consolidación y provocar dificultad para colocar los materiales.

3.3.2.2 Equipo y materiales

- ✓ Tamices $\frac{3}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ "
- ✓ Cuarteador mecánico
- ✓ Balanza de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 gr.
- ✓ Recipientes

3.3.2.3 Procedimiento

- ✓ Separar por cuarteo una muestra representativa por cuarteo
- ✓ Tamizar por las mallas indicadas $\frac{3}{4}$ " para grava y $\frac{3}{8}$ " para gravilla y determinar el peso retenido con muestra representativa de 1000g.



Figura- 3.10– Cuarteo de muestra representativa

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.11 – Separando las partículas planas o alargadas

Fuente: Elaboración propia

En la práctica muy pocos estados miden las partículas planas o alargadas por separado. La mayoría de los estados miden la relación de la mínima dimensión (espesor) a la máxima dimensión (largo) de la partícula de agregado para determinar el porcentaje de partículas planas o alargadas, usualmente se especifica un porcentaje máximo de relaciones 1:5. El ensayo se realizó de esta forma.

3.3.2.4 Cálculo y resultado

- ✓ Anote el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños antes especificados.
- ✓ Anote el peso del material de chatas y alargadas cada tamaño.
- ✓ Finalmente calcule el porcentaje de partículas chatas y alargadas

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

A: Peso exacto de las muestras tomadas para el ensayo (g)

B: Peso del material de partículas chatas y alargadas (g).

P: Porcentaje de partículas chatas y alargadas (%).

| Procedencia del Agregado "San Jose de charara" | | Grava | Gravilla |
|--|-------------|-------|----------|
| Peso total retenido en ¾” | [g] A | 1000 | 1000 |
| Peso total de partículas chatas y alargadas | [g] B | 4 | 0 |
| Porcentaje de partículas chatas alargadas | [%] B/Ax100 | 0,4 | 0 |

Tabla-3.4 - Porcentaje de partículas chatas alargadas grava ¾ y grava 3/8”

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles ASTM C131

3.3.3.1 Objetivo

- ✓ Este método abarca el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de desgaste de piedra y grava triturada y agregado grueso natural (grava no triturada) por medio de a máquina de los ángeles.

3.3.3.2 Equipo

- ✓ Máquina de desgaste de los Ángeles que consiste de un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. Este cilindro tiene las siguientes dimensiones interiores: 70cm. (28") de diámetro y 50cm (20") de largo. El tambor además tiene una puerta lateral pequeña por donde se introduce la muestra. El tambor debe ser montado en forma adecuada y acoplada a un motor de 1 HP de potencia aproximadamente, en forma tal que el número de revoluciones del tambor sea de 30 a 33 por minuto.
- ✓ Un juego de tamices de abertura cuadrada de la serie estándar de los siguientes tamaños: 3", 2 ½", 2", 1½", 3/4", 3/8" y números 4, 8 y 12.
- ✓ Horno de temperatura constante a 105 °C.
- ✓ Balanza de 5 kg de capacidad y sensible de 0,1 gr.

3.3.3.3 Procedimiento:

- ✓ La muestra de ensayo y la carga se colocara en la máquina de desgaste de los Ángeles y se pondrá en funcionamiento la maquina a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto. Para la gradaciones A, B, C la maquina se hará girar 500 revoluciones, para las gradaciones E, F y G se hará girar durante 1000 revoluciones. Al final del ensayo el material será descargado de la máquina y se hará una separación preliminar en un tamiz más grueso que el N° 12; la porción más fina se tamizara luego sobre el tamiz N° 12.
- ✓ El material que quede retenido en el tamiz N° 12 deberá lavarse, secarse hasta peso constante en un horno de 105 a 110 °C y pesarse con una aproximación al gramo.

La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los Ángeles consistirá de bolas o esferas de acero de 1 7/8" de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr. El número de bolas de acero que se usara depende de la gradación de la muestra de ensayo y será como sigue:

| Tamaño de Partículas (mm) | E | F | G | A | B | C | D |
|------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | (80-40) | (50-25) | (40-20) | (40-10) | (20-10) | (10-5) | (5-2,5) |
| Tamaño de las fracciones (g) | | | | | | | |
| 75 - 63 | 2.500 ± 50 | | | | | | |
| 63- 50 | 2.500 ± 50 | | | | | | |
| 50 -37,5 | 5.000 ± 50 | 5.000 ± 25 | | | | | |
| 37,5 - 25 | | 5.000 ± 50 | 5.000 ± 25 | 1.250 ± 10 | | | |
| 25 - 19 | | | 5.000 ± 25 | 1.250 ± 25 | | | |
| 19 - 12,5 | | | | 1.250 ± 10 | 2.500 ± 10 | | |
| 12,5 - 9,5 | | | | 1.250 ± 25 | 2.500 ± 10 | | |
| 9,5 - 6,3 | | | | | | 2.500 ± 10 | |
| 6,3 - 4,75 | | | | | | 2.500 ± 10 | |
| 4,75 - 2,36 | | | | | | | 5.000 ± 10 |
| Masa inicial de muestra (Mi) | 10.000 ± 100 | 10.000±75 | 10.000± 50 | 5.000 ± 10 | 5.000 ± 10 | 5.000 ± 10 | 5.000 ± 10 |
| Esferas | | | | | | | |
| - numero | 12 | | | 12 | 11 | 8 | 6 |
| - masa (g) | 5-00 ± 25 | | | 5.000 ± 25 | 4.584 ± 25 | 3.330 ± 25 | 2.500 ± 15 |
| Numero de revoluciones | 1.000 | | | 500 | | | |

Tabla-3.5 - Grados de ensayo (Definidos por tipos y sus rangos de tamaños, en mm)

Fuente: Manual de Carretera V4C de Administración Boliviana de Caminos



Figura- 3.12– Cuarteo del material

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.13– Tamizado
Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.14– Esferas de acero
Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.15- Equipo de los Ángeles
Fuente: Elaboración propia

3.3.3.4 Cálculo y resultado

La diferencia entre el peso original (P) y el peso final (Pf) de la muestra de ensayo será expresado como un porcentaje del peso original de la muestra de ensayo. Este valor será consignado como porcentaje de desgaste.

$$\text{Porcentaje de Desgaste} = \frac{P - Pf}{P} * 100 = \frac{\text{Diferencia}}{P} * 100$$

| Procedencia del Agregado: "San Jose de charara" | | |
|---|-----------|--------------------|
| Gradación: | B | Esferas a 32,5 RPM |
| Carga abrasiva con: | 11 | 500 Revoluciones |
| Pasa | Retenido | Cantidad |
| 3/4 | 1/2 | 2500 |
| 1/2 | 3/8 | 2500 |
| Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm) | | 3.854 |
| Diferencia | | 1.146 |
| Desgaste | | 22,92% |

Tabla-3.6 - Resultados desgaste de los ángeles grava ¾"

Fuente: Elaboración Propia

| Procedencia del Agregado: "San Jose de charara" | | |
|---|----------|--------------------|
| Gradación: | C | Esferas a 32,5 RPM |
| Carga abrasiva con: | 8 | 500 Revoluciones |
| Pasa | Retenido | Cantidad |
| 3/8 | 1/4 | 2500 |
| 1/4 | N° 4 | 2500 |
| Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm) | | 3846 |
| Diferencia | | 1154 |
| Desgaste | | 23,08 % |

Tabla-3.7 - Resultados desgaste de los ángeles grava 3/8"

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5 Determinación gravedad específica y absorción de agua en áridos gruesos

3.3.5.1 Objetivo:

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

Definiciones

Gravedad específica: de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C

La ecuación usada es:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen} * \text{Peso específico del agua}}$$

Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1.0gr/cm³, convirtiendo la ecuación de gravedad específica en:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de las mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

Gravedad Específica Seca Aparente (Gsa), incluye solamente el volumen de las partículas de agregado más los poros interiores que no han sido llenados con agua después de 24 horas de inmersión.

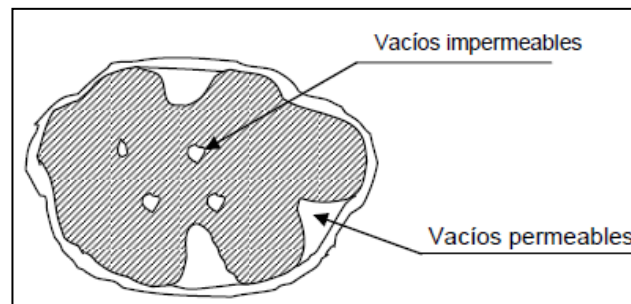


Figura- 3.16 Representación gráfica de los vacíos en los agregados

Fuente: Manual de Laboratorio ensayo para pavimentos -Peru

$$G.E. \text{ seca aparente } (Gsa) = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

Gravedad Especifica Seca Bulk (Gsb) ,Incluye volumen total de las partículas de agregados, así como el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión.

$$\text{Gravedad especifica seca Bulk } (Gsb) = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado + vacíos permeables}}$$

$$G.E. \text{ seca Bulk } (Gsb) = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp}) \gamma_w}$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb), define la relación entre el peso del agregado en su condición saturada superficialmente seca, que se obtiene secando las partículas con un paño luego de la inmersión, y el volumen del agregado más los vacíos permeables.

$$\text{Grav. Esp. saturada supeficialmente Bulk} = \frac{\text{Peso del agregado saturado superficialmente seco}}{\text{Volumen del agregado + vacíos permeables}}$$

$$G.E. \text{ sss bulk } (Gsssb) = \frac{W_{sss}}{(V_s + V_{pp}) \gamma_w}$$

3.3.5.2 Equipo y materiales:

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

3.3.5.3 Procedimiento:

- ✓ Tamaño de la muestra a ensayar, es la cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la tabla N°1, en función del tamaño máximo nominal del árido.

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

Tabla-3.8 - Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal

Fuente: ASTM127-01 "Volume 04.02 Concrete and Aggregates"

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



Figura-3.17 – Muestra saturada

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.18 – Secando la Muestra,
Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.19– Peso de muestra en agua
Fuente: Elaboración propia

3.3.5.4 Cálculos y resultados

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

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

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

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

Dónde:

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

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

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

| Descripción del ensayo | | Grava 3/4" | Gravilla 3/8" |
|--|-----------------------|-------------|---------------|
| Masa Material Seco [g.] | A | 5246 | 3510 |
| Masa Muestra Saturada de Superf. Seca [g.] | B | 5299 | 3556 |
| Masa Muestra suspendida Agua [g.] | C | 3324 | 2226 |
| Gravedad específica aparente (Gsa) [g./cm ³] | $\frac{A}{A-C}$ | 2,729 | 2,734 |
| Gravedad específica seco bulk (Gsb) [g./cm ³] | $\frac{A}{B-C}$ | 2,656 | 2,639 |
| Graved. Espe. Saturado perf. Seso (Gsss) [g./cm ³] | $\frac{B}{B-C}$ | 2,683 | 2,674 |
| Absorción [%] | $\frac{B-A}{A} * 100$ | 1,01 | 1,31 |

Tabla-3.9 - Resultado de gravedades específicas y absorción de agregado grueso

Fuente: Elaboración Propia

3.3.6 Gravedad Específica y absorción en Agregados Finos ASTM C-128

3.3.6.1 Objetivo

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

3.3.6.2 Equipo y material

- ✓ Balanza con capacidad de 1kg. y sensibilidad de 0,1 gr.
- ✓ Matraz de 500 ml de capacidad (se usa el mismo que se requiere para las pruebas de suelos).
- ✓ Molde cónico y una varilla.

- ✓ Muestra, Se selecciona una muestra de 1kg. Que puede ser obtenida por cuarteo, luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

3.3.6.3 Procedimiento:

- ✓ Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme.
- ✓ Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero en el molde cónico y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía alguna humedad en la superficie, conservara la forma cónica y si por el contrario la humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se levante el cono.
- ✓ Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocar en el cono.
- ✓ Se coloca 100grs. De la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope, con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre si mismo y luego se coloca en un baño a temperatura constante de 20°C. Luego se obtiene el peso del matraz lleno.
- ✓ Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante (105°C) y se pesara.



Figura- 3.20 – Muestra sumergida

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.21 – Secado del material

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.22– Usando el molde cónico

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.23– Pesando la muestra - agua y matraz
Fuente: Elaboración propia

3.3.6.4 Cálculo y resultados

| MUESTRA N° | PESO MUESTRA (gr) | PESO DE MATRÁZ (gr) | MUESTRA +MATRAZ +AGUA (gr) | PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr) | PESO MUESTRA SECADA "A" (gr) | VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml) | P. E. A GRANEL (gr/cm3) | P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3) | P. E. APARENTE (gr/cm3) | ABSORCIÓN % |
|--------------------|-------------------|---------------------|----------------------------|--|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------|
| Arena trit. gruesa | 500 | 199,7 | 988,1 | 308,60 | 490,90 | 500,00 | 2,565 | 2,612 | 2,693 | 1,82 |
| Arena trit. media. | 500 | 199,7 | 986,7 | 308,50 | 489,10 | 500,00 | 2,554 | 2,611 | 2,708 | 2,18 |
| Arena trit. fina | 500 | 199,7 | 999,6 | 309,00 | 487,20 | 500,00 | 2,551 | 2,618 | 2,734 | 2,56 |
| Arena nat. gruesa | 500 | 199,7 | 984,2 | 308,80 | 492,5 | 500,00 | 2,576 | 2,615 | 2,681 | 1,50 |
| Arena nat. media | 500 | 199,7 | 988 | 308,30 | 489,8 | 500,00 | 2,555 | 2,608 | 2,699 | 2,04 |
| Arena nat. fina | 500 | 199,7 | 991 | 305,00 | 483,1 | 500,00 | 2,477 | 2,564 | 2,713 | 3,38 |

Tabla-3.10 - Resultado de gravedades específicas y absorción de agregado fino

Fuente: Elaboración Propia

3.3.7 Determinación del peso unitario de los agregados grueso y fino

3.3.7.1 Objetivo

- ✓ El objetivo principal es describir como se obtiene el peso unitario de los agregados a temperatura ambiente.
- ✓ Analizar el peso unitario de los agregados tomando en cuenta el rango dado por la norma para agregados naturales.

3.3.7.2 Equipo y material

- ✓ Balanza sensible al 0.5% del peso de la muestra.
- ✓ Una varilla de 5/8” de diámetro y unos 60 cm de largo.
- ✓ Dos recipientes cilíndricos, uno para el agregado grueso y otro para el agregado fino.

Definiciones

Peso Unitario.

El peso unitario de un agregado, está definido como el peso de la muestra, sobre su volumen. Si se tiene una figura regular de muestra, se puede hallar su volumen con las medidas de esta figura, y por geometría, sacar el volumen de suelo que hay. Si por el contrario, no se cuenta de una figura geométrica pareja, se debe llevar a otros métodos, por medio de los cuales con el desplazamiento de agua, al meter este suelo en un estanque llena de esta, se puede llegar a calcular el volumen de la muestra. Con este método, se debe tener en cuenta de que al suelo no del debe entrar agua a su interior, porque de lo contrario, estaríamos alterando los resultados.

$$PU = \frac{P}{V}$$

Donde:

P= Peso seco del material

V= Volumen del recipiente

También hallaremos el peso unitario seco, el cual se define como el peso seco de la muestra sobre el volumen de la muestra, pero como tenemos el porcentaje de humedad de la muestra de suelo, podemos hallar el peso unitario seco por la relación entre el peso unitario húmedo sobre uno más el porcentaje de humedad sobre cien.

Tipos de peso unitario.

Existen dos tipos de peso unitario que depende del grado de compactación del agregado definido de la siguiente manera:

Peso Unitario Suelto (PUS).

Se denomina PUS, colocando el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame, y a continuación se nivela al ras pasando con una varilla metálica. El concepto de PUS, es importante cuando se trata el manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se realizan en estado suelto.

Peso Unitario Compactado (PUC).

Se denomina PUC, a causa de la compactación de los granos, incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas del agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria.

La PUC, es importante desde un punto de vista del diseño de la mezcla ya que con el se determina el volumen absoluto de los agregados por cuanto estos van a estar sometidos a una compactación durante el proceso de colocación del concreto.

3.3.7.3 Procedimiento:

- ✓ Mediante el cuarteo se obtuvo una muestra representativa
- ✓ Para determinar el tipo de cilindro a usar se tamizó la muestra

Pasos a realizar para la obtención del peso unitario suelto.

- ✓ Se llenó al molde con agregado desde una altura de aproximadamente 10 cm con velocidad constante.

- ✓ Llenado el molde, las partículas de la superficie se deben enrazar (sin ejercer presión sobre la muestra con el fin de evitar compactar la muestra) con una varilla teniendo como guía el borde del molde.
- ✓ Se pesó el molde con la muestra.
- ✓ El procedimiento mencionado se debe realizar tres veces.

Pasos a realizar para obtener los datos del peso unitario compactado.

- ✓ Llenar $1/3$ del agregado grueso al recipiente cilíndrico y dar 25 golpes con la varilla.
- ✓ Seguir llenando ahora el cilindro hasta los $2/3$ y nuevamente darle 25 golpes, posteriormente llenar al tope el recipiente dar de nuevo los 25 golpes.
- ✓ Llenado el molde, las partículas de la superficie se deben enrazar (ejercer presión sobre la muestra) con una varilla teniendo como guía el borde del molde.
- ✓ Pesar el recipiente ya compactado en la balanza y anotar su peso.
- ✓ Realizar este procedimiento al menos tres veces para sacar la media y así obtener resultado con menor margen de error.



Figura- 3.24– Llenado de la muestra en su respectivo molde

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.25 – Enrase de la muestra

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.26 – Pesos registrados de los agregados

Fuente: Elaboración propia

3.3.7.4 Cálculo y resultados

AGREGADO GRUESO – PESO UNITARIO SUELTO

| MUESTRA | PESO RECIPIENTE (gr) | VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³) | PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr) | PESO MUESTRA SUELTA (gr) | PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³) |
|--------------|----------------------------|---|--|-----------------------------------|---|
| GRAVA 3/4 | 5655,00 | 10000,00 | 19438,33 | 13783,33 | 1,378 |
| GRAVILLA 3/8 | 5655,00 | 10000,00 | 19443,33 | 13788,33 | 1,379 |

Tabla-3.11 - Resultados de peso unitario suelto de agregado grueso

Fuente: Elaboración Propia

AGREGADO GRUESO – PESO UNITARIO COMPACTADO

| MUESTRA | PESO RECIPIENTE (gr) | VOLUMEN RECIPIENTE (cm3) | PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr) | PESO MUESTRA SUELTA (gr) | PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3) |
|--------------|----------------------------|--------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| GRAVA 3/4 | 5655,00 | 10000,00 | 20780,00 | 15125,00 | 1,513 |
| GRAVILLA 3/8 | 5655,00 | 10000,00 | 20261,67 | 14606,67 | 1,461 |

Tabla-3.12 - Resultados de peso unitario compactado de agregado grueso

Fuente: Elaboración Propia

AGREGADO FINO – PESO UNITARIO SUELTO

| MUESTRA | PESO RECIPIENTE (gr) | VOLUMEN RECIPIENTE (cm3) | PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr) | PESO MUESTRA SUELTA (gr) | PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3) |
|---------------------|----------------------------|--------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| ARENA TRIT. GRUESA | 3079,1 | 3012,0 | 7433,60 | 4354,50 | 1,446 |
| ARENA TRIT. INTERM. | 3079,1 | 3012,0 | 7517,57 | 4438,47 | 1,474 |
| ARENA TRIT. FINA | 3079,1 | 3012,0 | 7106,13 | 4027,03 | 1,337 |
| ARENA NAT. GRUESA | 3079,1 | 3012,0 | 7668,2 | 4589,10 | 1,524 |
| ARENA NAT. INTERM. | 3079,1 | 3012,0 | 7553,23 | 4474,13 | 1,485 |
| ARENA NAT. FINA | 3079,1 | 3012,0 | 7126,37 | 4047,27 | 1,344 |

Tabla-3.13 - Resultados de peso unitario suelto de agregado fino

Fuente: Elaboración Propia

AGREGADO FINO – PESO UNITARIO COMPACTADO

| MUESTRA | PESO RECIPIENTE (gr) | VOLUMEN RECIPIENTE (cm3) | PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr) | PESO MUESTRA SUELTA (gr) | PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3) |
|---------------------|----------------------------|--------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| ARENA TRIT. GRUESA | 3079,1 | 3012,0 | 8081,07 | 5001,97 | 1,661 |
| ARENA TRIT. INTERM. | 3079,1 | 3012,0 | 8202,10 | 5123,00 | 1,701 |
| ARENA TRIT. FINA | 3079,1 | 3012,0 | 7916,80 | 4837,70 | 1,606 |
| ARENA NAT. GRUESA | 3079,1 | 3012,0 | 8369,17 | 5290,07 | 1,756 |
| ARENA NAT. INTERM. | 3079,1 | 3012,0 | 8045,27 | 4966,17 | 1,649 |
| ARENA NAT. FINA | 3079,1 | 3012,0 | 7694,97 | 4615,87 | 1,532 |

Tabla-3.14 - Resultados de peso unitario compactado de agregado fino

Fuente: Elaboración Propia

3.3.8. Determinación del valor Equivalente de arena de suelos y agregados finos

Norma ASTM D 2419

3.3.8.1 Objetivo

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

3.3.8.2 Equipo y materiales:

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

3.3.8.3 Procedimiento

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

h1 y h2 para las dos muestras



Figura-3.27 – Llenado de la probeta con solución

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.28 – Tipos de muestra en reposo
Fuente: Elaboración propia



Figura-3.29 – Lecturamos h1 y h2
Fuente: Elaboración propia

3.3.8.4 Cálculo y resultado:

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

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

| Procedencia del Agregado triturado arena gruesa: “Vafercon” | |
|--|-------|
| Lectura de arena | 9,9 |
| Lectura de arcilla | 10,5 |
| Porcentaje de arena [%] | 90.48 |

Tabla-3.15 - Resultado de Porcentaje de arena
Fuente: Elaboración propia

| Procedencia del Agregado triturado arena media: “Erika” | |
|--|-------|
| Lectura de arena | 8,2 |
| Lectura de arcilla | 11,1 |
| Porcentaje de arena [%] | 73,87 |

Tabla- 3.16 - Resultado de Porcentaje de arena
Fuente: Elaboración propia

| Procedencia del Agregado triturado arena fina: "San Jose de Charaja" | |
|---|-------|
| Lectura de arena | 6 |
| Lectura de arcilla | 14,3 |
| Porcentaje de arena [%] | 41,96 |

Tabla-3.17 - Resultado de Porcentaje de arena

Fuente: Elaboración propia

| Procedencia del Agregado natural arena gruesa: Rio Tolomosa | |
|--|------|
| Lectura de arena | 7,8 |
| Lectura de arcilla | 8,6 |
| Porcentaje de arena [%] | 90,7 |

Tabla-3.18 - Resultado de Porcentaje de arena

Fuente: Elaboración propia

| Procedencia del Agregado natural arena media: Rio guadalquivir | |
|---|-------|
| Lectura de arena | 8,5 |
| Lectura de arcilla | 9,8 |
| Porcentaje de arena [%] | 86,73 |

Tabla- 3.19 - Resultado de Porcentaje de arena

Fuente: Elaboración propia

| Procedencia del Agregado natural arena fina: Rio camacho | |
|---|-------|
| Lectura de arena | 9 |
| Lectura de arcilla | 16.8 |
| Porcentaje de arena [%] | 53.57 |

Tabla-3.20 - Resultado de Porcentaje de arena

Fuente: Elaboración propia

3.3.9 Granulometría de agregados ASTM C136

3.3.9.1 Objetivo

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

3.3.9.2 Equipos y materiales:

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

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

Tabla- 3.21 - Serie de Tamices (* Tamices utilizados en el ensayo)

Fuente: Manual de Carretera V4C de Administración Boliviana de Caminos

3.3.9.3 Procedimiento

- ✓ Antes de realizar el ensayo se debe de eliminar todo tipo de impurezas (material orgánico) y toda partícula fina menor a a 0.075 mm. Para ello se procederá a lavar bien la muestra y secarla muy bien. (Se recomienda dejarlo secar 24 Hrs. a temperatura ambiente o secarlo en un horno.)

- ✓ Se realiza el cuarteo del material para determinar una cantidad de muestra apropiada según la siguiente tabla:

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

Tabla-3.22 - Cantidad mínima de muestra (* Utilizado)

Fuente: Manual de Carretera V4C de Administración Boliviana de Caminos

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



Figura- 3.30 – Cuarteo del material

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.31 – Peso de la muestra

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.32– Juego de tamices
Fuente: Elaboración propia



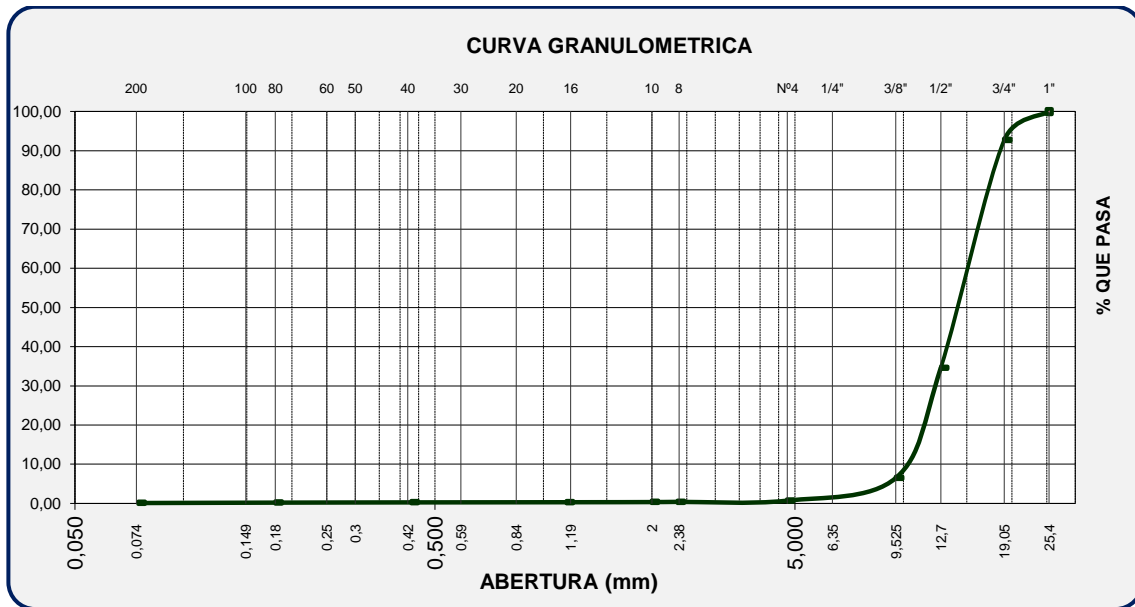
Figura-3.33– Pesando el Material tamizado
Fuente: Elaboración propia

3.3.9.4 Cálculo y resultado

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

| Procedencia del agregado: "San José de Charaja" | | | | | |
|---|---------------|-------------------|-----------------------------|------------|------------|
| Masa total (g) : | | 2500 | | | |
| Tamiz (No) | Abertura (mm) | Masa Retenido (g) | Masa Retenido Acumulado (g) | % Retenido | % Que Pasa |
| 1" | 25,40 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 |
| 3/4" | 19,05 | 182,5 | 182,50 | 7,3 | 92,70 |
| 1/2 " | 12,70 | 1452,5 | 1635,00 | 65,4 | 34,60 |
| 3/8" | 9,53 | 702,5 | 2337,50 | 93,5 | 6,50 |
| N°4 | 4,75 | 145 | 2482,50 | 99,3 | 0,70 |
| N°10 | 2,36 | 7,5 | 2490,00 | 99,6 | 0,40 |
| N°16 | 2,00 | 1,5 | 2491,50 | 99,7 | 0,34 |
| N°40 | 1,16 | 1 | 2492,50 | 99,7 | 0,30 |
| N°50 | 0,43 | 1 | 2493,50 | 99,7 | 0,26 |
| N°80 | 0,18 | 1,5 | 2495,00 | 99,8 | 0,20 |
| N°200 | 0,075 | 2,5 | 2497,50 | 99,9 | 0,10 |
| Pasa | | 2,5 | 2500,00 | 100,0 | 0,00 |

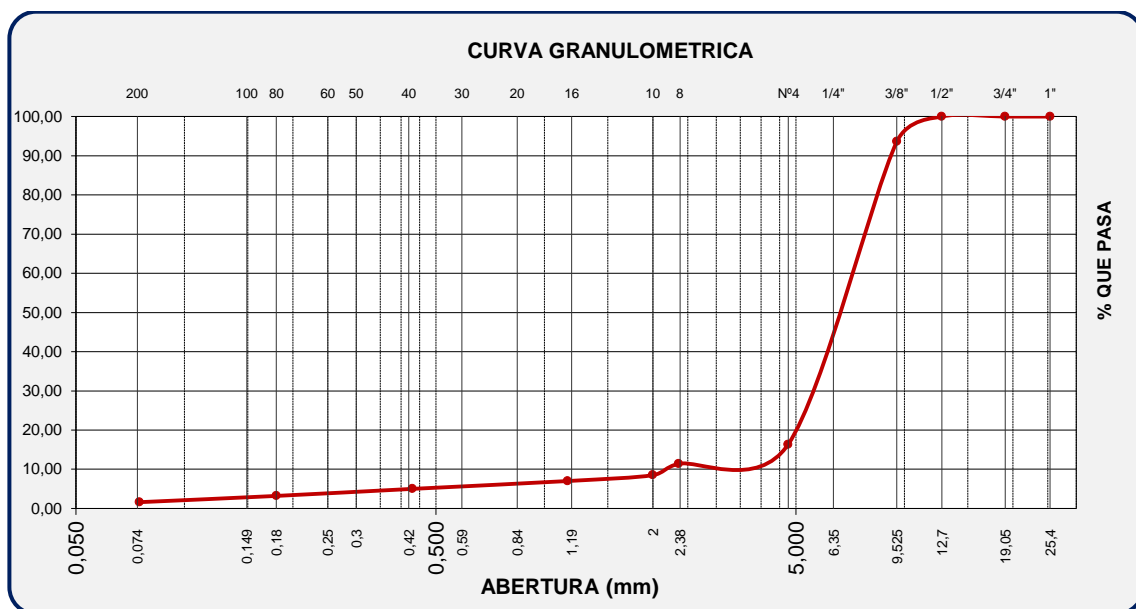
Tabla-3.23 - Resultado de granulometría de grava 3/4"
Fuente: Elaboración propia



Grafica 3.3 - Análisis de granulometría de grava 3/4"
Fuente: Elaboración propia

| Procedencia del agregado: "San José de Charaja" | | | | | |
|---|---------------|-------------------|-----------------------------|------------|------------|
| Masa total (g) : | | 2500 | | | |
| Tamiz (No) | Abertura (mm) | Masa Retenido (g) | Masa Retenido Acumulado (g) | % Retenido | % Que Pasa |
| 1" | 25,40 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 |
| 3/4" | 19,05 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 |
| 1/2 " | 12,70 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 |
| 3/8" | 9,53 | 160 | 160,00 | 6,4 | 93,60 |
| N°4 | 4,75 | 1932,5 | 2092,50 | 83,7 | 16,30 |
| N°10 | 2,36 | 122,5 | 2215,00 | 88,6 | 11,40 |
| N°16 | 2,00 | 72,5 | 2287,50 | 91,5 | 8,50 |
| N°40 | 1,16 | 37,5 | 2325,00 | 93,0 | 7,00 |
| N°50 | 0,43 | 50 | 2375,00 | 95,0 | 5,00 |
| N°80 | 0,18 | 45 | 2420,00 | 96,8 | 3,20 |
| N°200 | 0,075 | 40 | 2460,00 | 98,4 | 1,60 |
| Pasa | | 40 | 2500,00 | 100,0 | 0,00 |

Tabla-3.24 - Resultado de granulometría de grava 3/8"
Fuente: Elaboración propia

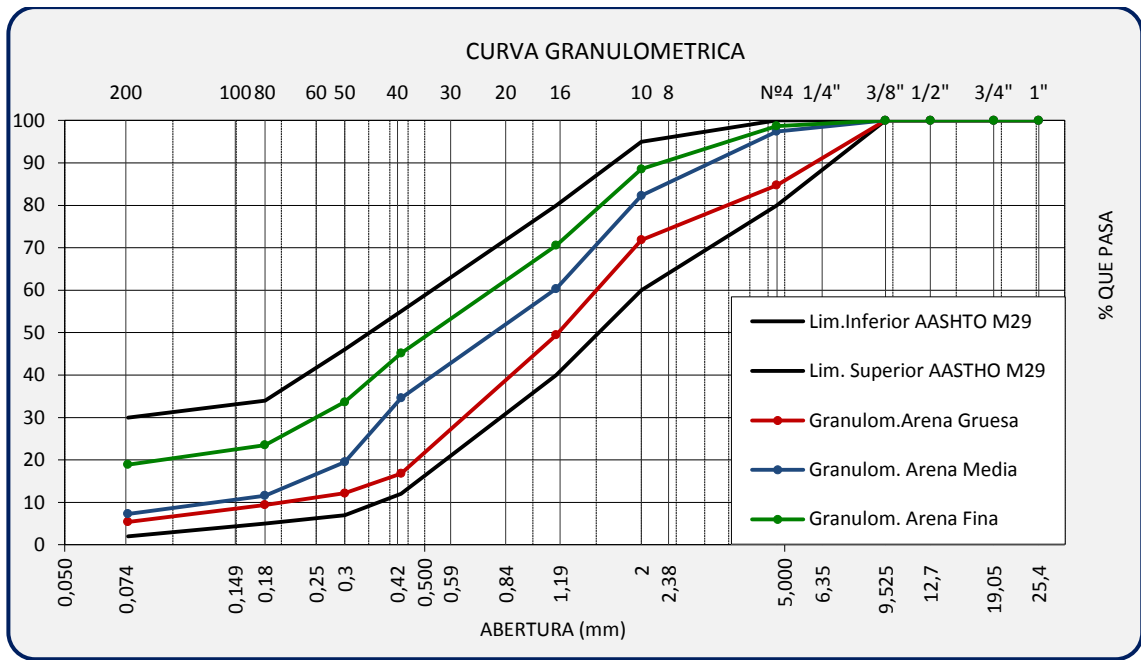


Grafica3.4 - Análisis de granulometría de grava 3/8"
Fuente: Elaboración propia

| GRANULOMETRIA DE MATERIAL FINO TRITURADO | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------------------------|-----------------------------|------------|------------|-------------------------|-----------------------------|------------|------------|------------------------|-----------------------------|------------|------------|----------------------------|----------|
| Masa total (g) : | | "ARENA TRITURADA GRUESA" | | | | "ARENA TRITURADA MEDIA" | | | | "ARENA TRITURADA FINA" | | | | Especificación ASSTHO M 29 | |
| 2000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tamiz (No) | Abertura (mm) | Masa Retenido (g) | Masa Retenido Acumulado (g) | % Retenido | % Que Pasa | Masa Retenido (g) | Masa Retenido Acumulado (g) | % Retenido | % Que Pasa | Masa Retenido (g) | Masa Retenido Acumulado (g) | % Retenido | % Que Pasa | Lim.inf. | Lim.sup. |
| 1" | 25,40 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 100,0 | 100,00 |
| 3/4" | 19,05 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 100,0 | 100,00 |
| 1/2 " | 12,70 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 100,0 | 100,00 |
| 3/8" | 9,53 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 100,0 | 100,00 |
| N°4 | 4,75 | 320 | 320,00 | 16,0 | 84,00 | 98 | 98,00 | 4,9 | 95,10 | 40 | 40,00 | 2,0 | 98,00 | 80,0 | 100,00 |
| N°10 | 2,00 | 265 | 585,00 | 29,3 | 70,75 | 227 | 325,00 | 16,3 | 83,75 | 160 | 200,00 | 10,0 | 90,00 | 60,0 | 95,00 |
| N°16 | 1,16 | 420 | 1005,00 | 50,3 | 49,75 | 348 | 673,00 | 33,7 | 66,35 | 353 | 553,00 | 27,7 | 72,35 | 40,0 | 80,00 |
| N°40 | 0,43 | 650 | 1655,00 | 82,8 | 17,25 | 506 | 1179,00 | 59,0 | 41,05 | 535 | 1088,00 | 54,4 | 45,60 | 12,0 | 55,00 |
| N°50 | 0,30 | 80 | 1735,00 | 86,8 | 13,25 | 250 | 1429,00 | 71,5 | 28,55 | 250 | 1338,00 | 66,9 | 33,10 | 7,0 | 46,00 |
| N°80 | 0,18 | 55 | 1790,00 | 89,5 | 10,50 | 180 | 1609,00 | 80,5 | 19,55 | 200 | 1538,00 | 76,9 | 23,10 | 5,0 | 34,00 |
| N°200 | 0,075 | 80 | 1870,00 | 93,5 | 6,50 | 145 | 1754,00 | 87,7 | 12,30 | 76 | 1614,00 | 80,7 | 19,30 | 2,0 | 30,00 |
| Pasa | | 130 | 2000,00 | 100,0 | 0,00 | 246 | 2000,00 | 100,0 | 0,00 | 386 | 2000,00 | 100,0 | 0,00 | | |

Tabla-3.25 - Resultado de granulometría de Arenas

Fuente: Elaboración propia

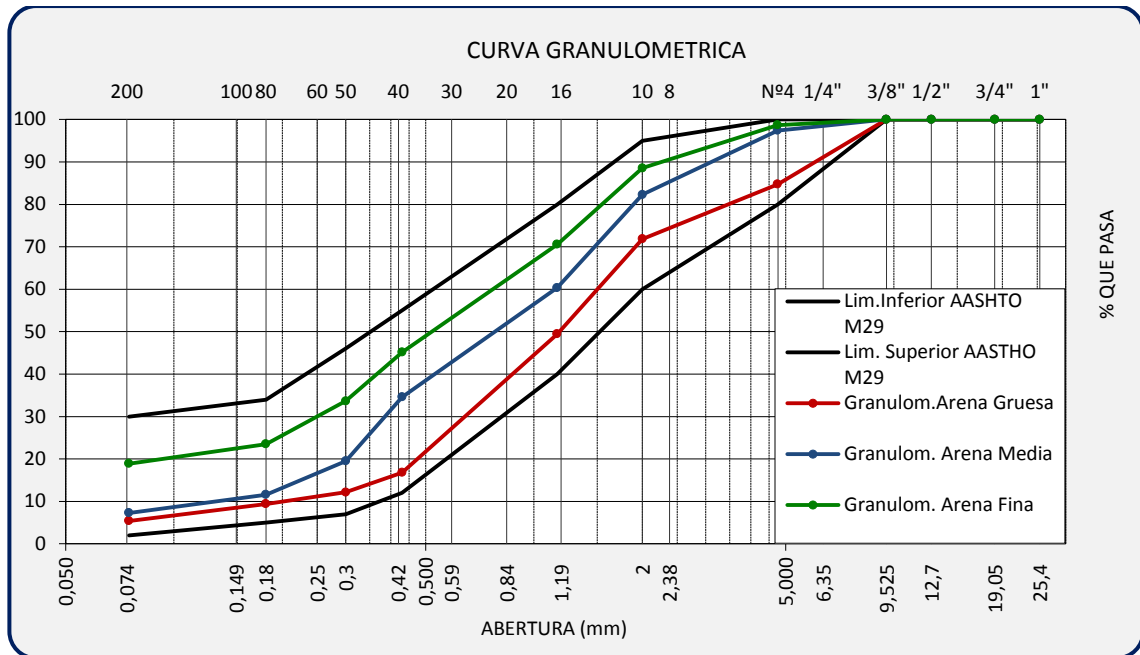


Grafica 3.5 - Análisis de granulometría de arenas
Fuente: Elaboración propia

| GRANULOMETRIA DE MATERIAL FINO NATURAL | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|------------------------|-----------------------------|------------|------------|-----------------------|-----------------------------|------------|------------|----------------------|-----------------------------|------------|------------|----------------------------|----------|
| Masa total (g) : | | "ARENA NATURAL GRUESA" | | | | "ARENA NATURAL MEDIA" | | | | "ARENA NATURAL FINA" | | | | Especificación ASSTHO M 29 | |
| 2000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tamiz (No) | Abertura (mm) | Masa Retenido (g) | Masa Retenido Acumulado (g) | % Retenido | % Que Pasa | Masa Retenido (g) | Masa Retenido Acumulado (g) | % Retenido | % Que Pasa | Masa Retenido (g) | Masa Retenido Acumulado (g) | % Retenido | % Que Pasa | Lim.inf. | Lim.sup. |
| 1" | 25,40 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 100,0 | 100,00 |
| 3/4" | 19,05 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 100,0 | 100,00 |
| 1/2 " | 12,70 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 100,0 | 100,00 |
| 3/8" | 9,53 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0,0 | 100,00 | 100,0 | 100,00 |
| N°4 | 4,75 | 305 | 305,00 | 15,3 | 84,75 | 52 | 52,00 | 2,6 | 97,40 | 26 | 26,00 | 1,3 | 98,70 | 80,0 | 100,00 |
| N°10 | 2,00 | 258 | 563,00 | 28,2 | 71,85 | 302 | 354,00 | 17,7 | 82,30 | 203 | 229,00 | 11,5 | 88,55 | 60,0 | 95,00 |
| N°16 | 1,16 | 448 | 1011,00 | 50,6 | 49,45 | 439 | 793,00 | 39,7 | 60,35 | 360 | 589,00 | 29,5 | 70,55 | 40,0 | 80,00 |
| N°40 | 0,43 | 653 | 1664,00 | 83,2 | 16,80 | 515 | 1308,00 | 65,4 | 34,60 | 508 | 1097,00 | 54,9 | 45,15 | 12,0 | 55,00 |
| N°50 | 0,30 | 93 | 1757,00 | 87,9 | 12,15 | 302 | 1610,00 | 80,5 | 19,50 | 230 | 1327,00 | 66,4 | 33,65 | 7,0 | 46,00 |
| N°80 | 0,18 | 55 | 1812,00 | 90,6 | 9,40 | 158 | 1768,00 | 88,4 | 11,60 | 203 | 1530,00 | 76,5 | 23,50 | 5,0 | 34,00 |
| N°200 | 0,075 | 80 | 1892,00 | 94,6 | 5,40 | 86 | 1854,00 | 92,7 | 7,30 | 92 | 1622,00 | 81,1 | 18,90 | 2,0 | 30,00 |
| Pasa | | 108 | 2000,00 | 100,0 | 0,00 | 146 | 2000,00 | 100,0 | 0,00 | 378 | 2000,00 | 100,0 | 0,00 | | |

Tabla-3.26 - Resultado de granulometría de Arenas

Fuente: Elaboración propia



Grafica 3.6 - Análisis de granulometría de arenas

Fuente: Elaboración propia

3.3.10 Dosificación de agregados para la granulometría combinada

3.3.10.1 Objetivo

La dosificación de agregados tiene por objeto lograr una mezcla cuya gradación se encuentre dentro de los límites recomendados en una especificación determinada, se cuenta con procedimientos analíticos y gráficos; dentro de estos el método de prueba y error es el más utilizado, ya que con la ayuda de programas de computación como Excel es cómodo elaborar tablas de cálculos y establecer una combinación de varios agregados.

3.3.10.2 Procedimiento

- ✓ Se busca una combinación de los tres agregados que se utilizarán: Grava 3/4", Grava 3/8" y Arena, para esto se ha utilizado el programa Excel de Windows mediante la elaboración de una tabla con fórmulas para que realice dichos cálculos de la cual se obtiene los porcentajes para cada uno de los agregados

antes mencionados, y considerando que el Tamaño Máximo del agregado que se tiene es de 3/4”.

- ✓ Se procede a asignar un porcentaje a cada agregado, la sumatoria de dichos porcentajes será el 100 por ciento de los agregados; por ejemplo:

| | |
|----------------------|-------|
| Agregado Grueso 3/4” | 30 % |
| Agregado Medio 3/8” | 30 % |
| Arena | 40 % |
| | 100 % |

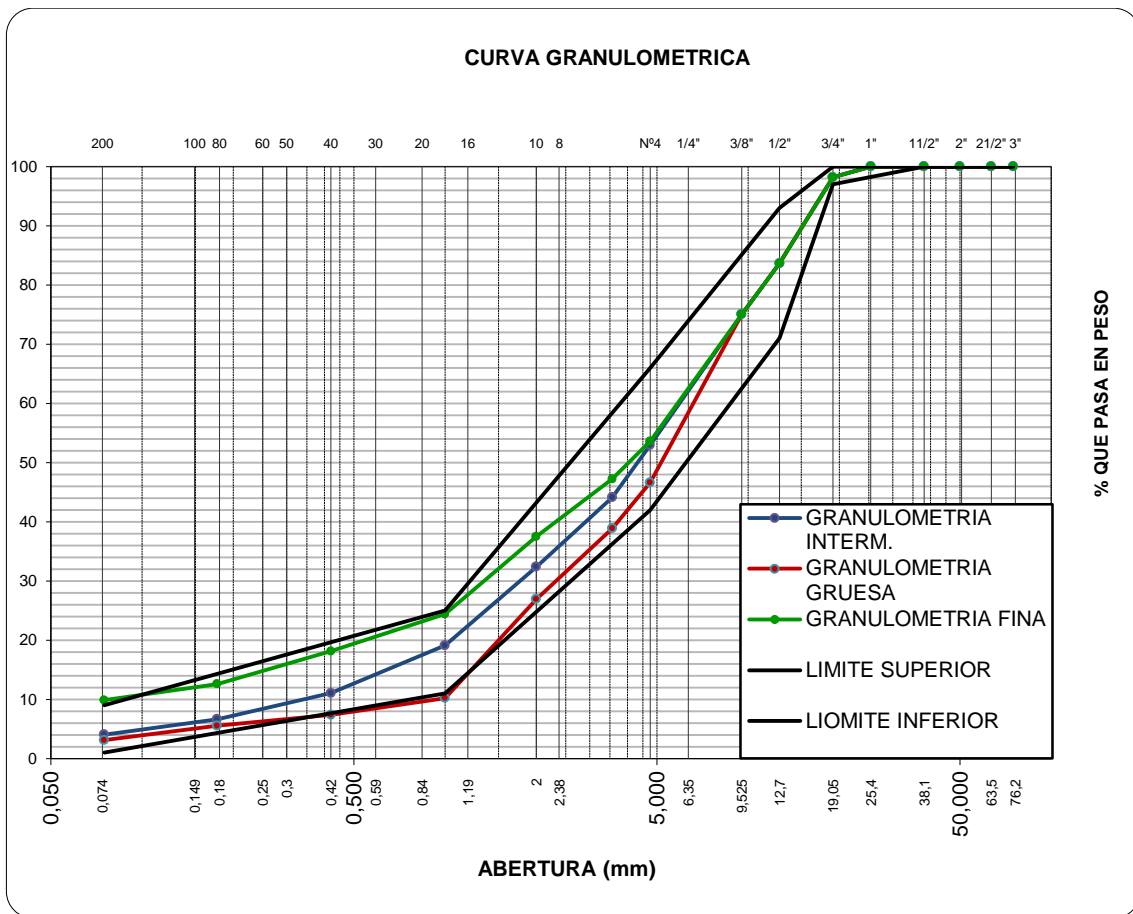
- ✓ El porcentaje de cada agregado es multiplicado por su respectiva granulometría luego se obtiene la suma de los tres porcentajes obteniendo así el valor para cada tamiz respectivamente, se verifica si está dentro de la especificación e igual a la granulometría proyectada.

Granulometría: se utiliza la especificación granulométrica del Manual de Carretera Administración Boliviana de Caminos ABC, que exige para ese tamaño es el Tipo C.

| TAMICES | | MEZCLA DE AGREGADOS PETREOS TRITURADOS | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|--|---|--|-------------------------|----------|-------|
| | | GRAVA 3/4 | | GRAVA 3/8 | | ARENA | | | | | | Granulom. combinada (ARENA TRIT. GRUESA) | Granulom. combinada (ARENA TRIT. MEDIA) | Granulom. combinada (ARENA TRIT. FINA) | Especificacion Tipo "C" | | |
| | | A= 25% | | B= 25% | | C= 50% | | | | | | | | | Lim.Inf. | Lim.Sup. | |
| Tamiz ("No) | Abert. (mm) | % Pasa | %Pasa*A | % Pasa | %Pasa*B | % Retenid | %Pasa*C | % Retenid | %Pasa**C | % Retenid | %Pasa***C | % Pasa | % Pasa | % Pasa | % Pasa | % Pasa | |
| 3 | 75,00 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,0 | 100,0 |
| 2 ½ | 63,50 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,0 | 100,0 |
| 2 | 50,00 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,0 | 100,0 |
| 1 ½ | 38,10 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,0 | 100,0 |
| 1" | 25,40 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 97,0 | 100,0 |
| ¾" | 19,05 | 92,7 | 23,18 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 98,18 | 98,18 | 98,18 | | | |
| ½" | 12,70 | 34,6 | 8,65 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 83,65 | 83,65 | 83,65 | 71,0 | 93,0 | |
| 3/8" | 9,53 | 6,5 | 1,63 | 93,6 | 23,40 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 75,03 | 75,03 | 75,03 | | | |
| Nº4 | 4,75 | 0,7 | 0,18 | 16,3 | 4,08 | 84,00 | 42,00 | 95,10 | 47,55 | 98,00 | 49,00 | 46,25 | 51,80 | 53,25 | 42,0 | 66,0 | |
| Nº10 | 3,56 | 0,4 | 0,10 | 11,4 | 2,85 | 70,75 | 35,38 | 83,75 | 41,88 | 90,00 | 45,00 | 38,33 | 44,83 | 47,95 | | | |
| Nº16 | 2,00 | 0,3 | 0,09 | 8,5 | 2,13 | 49,75 | 24,88 | 66,35 | 33,18 | 72,35 | 36,18 | 27,09 | 35,39 | 38,39 | | | |
| Nº40 | 1,00 | 0,3 | 0,08 | 7,0 | 1,75 | 17,25 | 8,63 | 41,05 | 20,53 | 45,60 | 22,80 | 10,45 | 22,35 | 24,63 | 11,0 | 25,0 | |
| Nº50 | 0,42 | 0,3 | 0,07 | 5,0 | 1,25 | 13,25 | 6,63 | 28,55 | 14,28 | 33,10 | 16,55 | 7,94 | 15,59 | 17,87 | | | |
| Nº80 | 0,18 | 0,2 | 0,05 | 3,2 | 0,80 | 10,50 | 5,25 | 19,55 | 9,78 | 23,10 | 11,55 | 6,10 | 10,63 | 12,40 | | | |
| Nº200 | 0,075 | 0,1 | 0,03 | 1,6 | 0,40 | 6,50 | 3,25 | 12,30 | 6,15 | 19,30 | 9,65 | 3,68 | 6,58 | 10,08 | 1,0 | 9,0 | |
| Pasa | | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |

Tabla- 3.27 - Combinaciones Granulométricas –Convencional Tipo C

Fuente: Elaboración propia

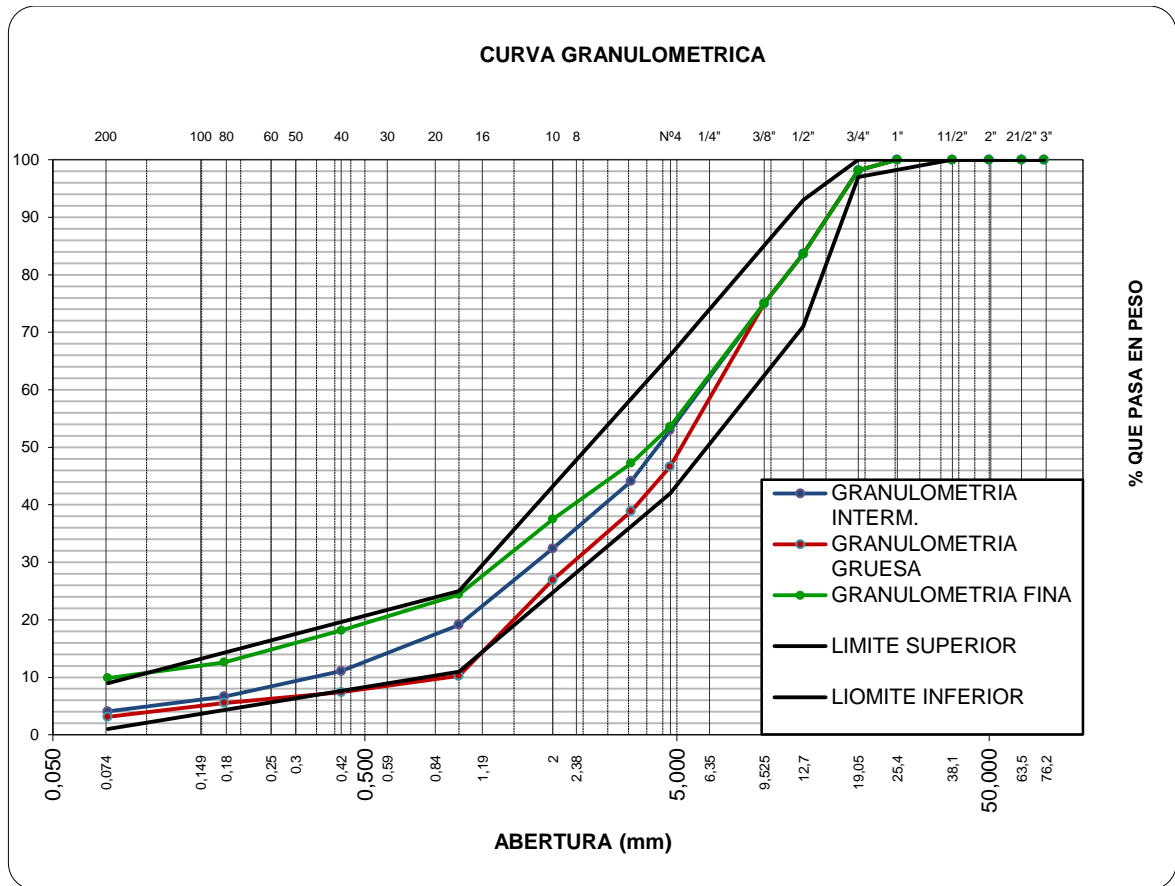


Grafica 3.7 - Combinaciones Granulométricas –Convencional Tipo
 Fuente: Elaboración propia

| TAMICES | | MEZCLA DE AGREGADOS PETREOS NATURALES | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|---------------------------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|---|--|---------------------------------------|-------------------------|----------|-------|
| | | GRAVA 3/4 | | GRAVA 3/8 | | ARENA | | | | | | Granulom. combinada (ARENA NAT. GRUESA) | Granulom. combinada (ARENA NAT. MEDIA) | Granulom. combinada (ARENA NAT. FINA) | Especificacion Tipo "C" | | |
| | | A= 25% | | B= 25% | | C= 50% | | | | | | | | | Lim.Inf. | Lim.Sup. | |
| Tamiz ("No) | Abert. (mm) | % Pasa | %Pasa*A | % Pasa | %Pasa*B | % Retenid | %Pasa*C | % Retenid | %Pasa**C | % Retenid | %Pasa***C | % Pasa | % Pasa | % Pasa | % Pasa | % Pasa | |
| 3 | 75,00 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,0 | 100,0 |
| 2 ½ | 63,50 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,0 | 100,0 |
| 2 | 50,00 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,0 | 100,0 |
| 1 ½ | 38,10 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,0 | 100,0 |
| 1" | 25,40 | 100,0 | 25,00 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | |
| ¾" | 19,05 | 92,7 | 23,18 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 98,18 | 98,18 | 98,18 | 97,0 | 100,0 | |
| ½ " | 12,70 | 34,6 | 8,65 | 100,0 | 25,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 83,65 | 83,65 | 83,65 | 71,0 | 93,0 | |
| 3/8" | 9,53 | 6,5 | 1,63 | 93,6 | 23,40 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 100,00 | 50,00 | 75,03 | 75,03 | 75,03 | | | |
| Nº4 | 4,75 | 0,7 | 0,18 | 16,3 | 4,08 | 84,75 | 42,38 | 97,40 | 48,70 | 98,70 | 49,35 | 46,63 | 52,95 | 53,60 | 38,0 | 66,0 | |
| Nº10 | 3,56 | 0,4 | 0,10 | 11,4 | 2,85 | 71,85 | 35,93 | 82,30 | 41,15 | 88,55 | 44,28 | 38,88 | 44,10 | 47,23 | | | |
| Nº16 | 2,00 | 0,3 | 0,09 | 8,5 | 2,13 | 49,45 | 24,73 | 60,35 | 30,18 | 70,55 | 35,28 | 26,94 | 32,39 | 37,49 | | | |
| Nº40 | 1,00 | 0,3 | 0,08 | 7,0 | 1,75 | 16,80 | 8,40 | 34,60 | 17,30 | 45,15 | 22,58 | 10,23 | 19,13 | 24,40 | 25,0 | 9,0 | |
| Nº50 | 0,42 | 0,3 | 0,07 | 5,0 | 1,25 | 12,15 | 6,08 | 19,50 | 9,75 | 33,65 | 16,83 | 7,39 | 11,07 | 18,14 | | | |
| Nº80 | 0,18 | 0,2 | 0,05 | 3,2 | 0,80 | 9,40 | 4,70 | 11,60 | 5,80 | 23,50 | 11,75 | 5,55 | 6,65 | 12,60 | | | |
| Nº200 | 0,075 | 0,1 | 0,03 | 1,6 | 0,40 | 5,40 | 2,70 | 7,30 | 3,65 | 18,90 | 9,45 | 3,13 | 4,08 | 9,88 | 1,0 | 10,0 | |
| Pasa | | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |

Tabla-3.28 - Combinaciones Granulométricas –Convencional Tipo C

Fuente: Elaboración pro



Grafica 3.8 - Combinaciones Granulométricas –Convencional Tipo C

Fuente: Elaboración propia

Comprobación granulométrica: Cuando se tienen establecidos los porcentajes para cada uno de los agregados el procedimiento sigue con una comprobación granulométrica que se puede decir que es la combinación real, y es simplemente la verificación que indica que se puede reproducir la combinación teórica, dicha comprobación se realiza según el ensayo basado en AASHTO T 27.

Así la combinación para obtener una muestra de 2500 g que sirva para realizar el ensayo granulométrico, es de la siguiente manera:

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| Agregado Grueso 3/4" | 25 % = 0.25 x 2500 g = 625 g |
| Agregado Medio 3/8" | 25 % = 0.25 x 2500 g = 625 g |
| Arena | 50 % = 0.50 x 2500 g = 1250 g |
| | 100 % 2500 g |

3.4 Caracterización de materiales asfálticos

3.4.1 Penetración ASTM D5, AASHTO T49

3.4.1.1 Objetivo

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

3.4.1.2 Equipo y material

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

3.4.1.3 Procedimiento

- ✓ Calentar el material en un recipiente, agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que

alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas.

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



Figura- 3.34–Material sumergido en baño
Fuente: Elaboración propia

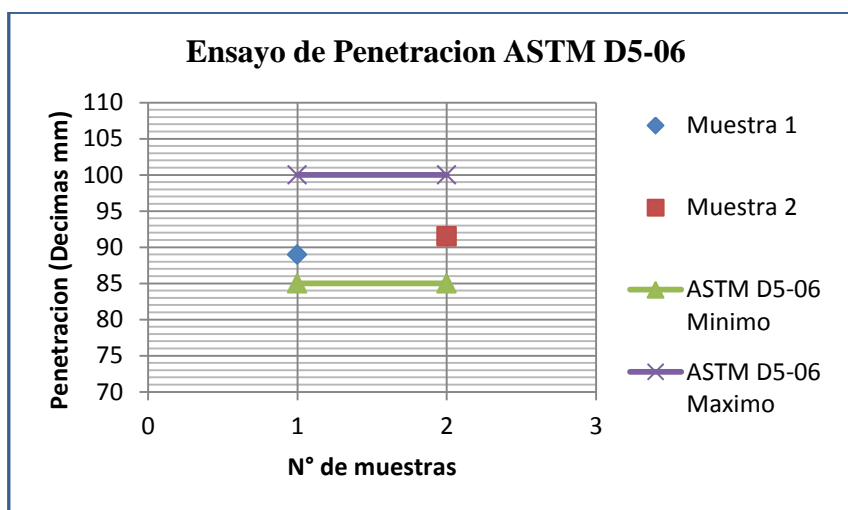


Figura- 3.35– Lectura de penetración
25 °C, 5 segundos y con un peso de 100 g
Fuente: Elaboración propia

4.4.1.4 Cálculo y resultados

| Ensayo de penetración | | | |
|-----------------------|----------------|---------|----------|
| N° de muestra | N° penetración | Lectura | Unidades |
| 1 | 1 | 90 | d mm |
| | 2 | 91 | d mm |
| | 3 | 86 | d mm |
| | Promedio | 89 | d mm |
| 2 | 1 | 90 | d mm |
| | 2 | 88 | d mm |
| | 3 | 89 | d mm |
| | Promedio | 89 | d mm |
| | PENETRACION | 89 | d mm |

Tabla-3.29 - Resultado de Ensayo de Penetración 85-100 Convencional
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3.9 – Resultado de Penetración 85-100 Convencional

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Ensayo de Viscosidad Saybolt Furolb ASTM D244

3.4.2.1 Objetivo.

- ✓ Este método de ensayo permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo. Empleando una temperatura de 135°C para los cementos asfálticos, de 25 y 50°C para las emulsiones asfálticas y de 50 y 60°C para los asfaltos rebajados, haciendo a otras temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de los materiales asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.
- ✓ La prueba consiste en determinar el tiempo que tarda en pasar 60 cm³ del material a probar a través de un orificio Furol, instalado en un tubo de Viscosidad Saybolt, bajo condiciones de carga y temperatura preestablecida.

3.4.2.2 Equipo y materiales

- ✓ Viscosímetro Syabot Furolb
- ✓ Recipiente
- ✓ Aciete
- ✓ Matraz 60 cm³

3.4.2.3 Procesamiento

- ✓ Se colocan 450 g de la muestra de cemento asfáltico en un recipiente, para derretirla se calienta hasta alcanzar una temperatura superior en 15 °C a la prueba, agitándola de vez en cuando, excepto durante los últimos 30°C de calentamiento, cuando el agitado será continuo. El tiempo de calentamiento no será mayor de 2 horas y la muestra solamente se debe.
- ✓ Se llena el baño del viscosímetro con el aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectuara la prueba o con agua si se trata de un asfalto rebajado.
- ✓ Se limpia el tubo del equipo y se seca perfectamente antes de utilizarlo. Para facilitar esta limpieza, después de cada prueba el tubo de viscosidad se llena con aceite, se vacía y enseguida se limpia.
- ✓ Una vez limpiado el tubo de viscosidad, se le inserta el tapón de corcho en su parte inferior, de manera que penetre de 6 a 9 mm, cuidando que ajuste herméticamente para evitar pérdidas de la muestra de prueba.
- ✓ Se ajusta el baño del viscosímetro a una temperatura ligeramente inferior a la seleccionada para la prueba, se entibian y secan el tubo de viscosidad y el embudo con la malla N° 20 cuando se trate de cemento asfáltico o N° 100 para asfalto rebajado. A continuación se vierte en el tubo de viscosidad la muestra preparada, filtrándola a través de la malla, hasta que se derrame en la cazoleta; se coloca la tapa y se inserta el termómetro a través del orificio central de la misma.
- ✓ Se ajusta la muestra continuamente con el termómetro, dándole a este un movimiento circular y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el tubo de viscosidad para no presionar el asfalto a través del orificio de la boquilla se ajusta la temperatura del baño hasta que la muestra alcance la temperatura de prueba y se establezca el equilibrio térmico.

- ✓ Cuando la temperatura de la muestra permanezca constante durante 1 minuto de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0,3 °C respecto a la temperatura de prueba, se retira la tapa para verificar que la muestra dentro de la cazoleta no llegue al nivel de derrame y se vuelve a colocar la tapa.
- ✓ Inmediatamente después se coloca el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha el cronometro , el cual se detiene en el momento en que la muestra alcance la marca de aforo de 60 cm³ del matraz y se registra el tiempo medido. El tiempo transcurrido desde que se inicia el llenado del tubo de viscosidad hasta que empieza el llenado del matraz.

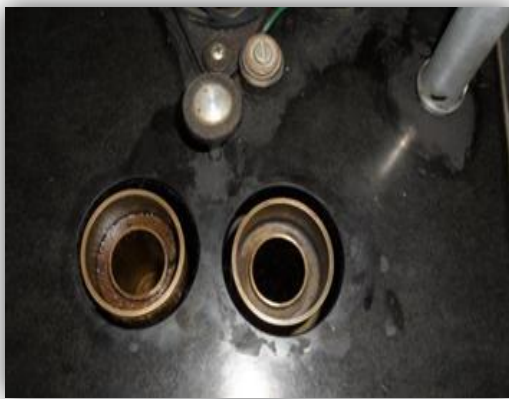


Figura- 3.36– Limpieza del equipo
Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.37– Vertido del material
Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.38–Retiro del tapón de corcho
Fuente: Elaboración propia



Figura-3.39 –Registro de tiempo en el Viscosímetro

3.4.2.4 Cálculo y resultados

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

| Ensayos | Tiempo (seg) |
|-----------------|--------------|
| 1 | 84 |
| 2 | 100 |
| Promedio | 92 |

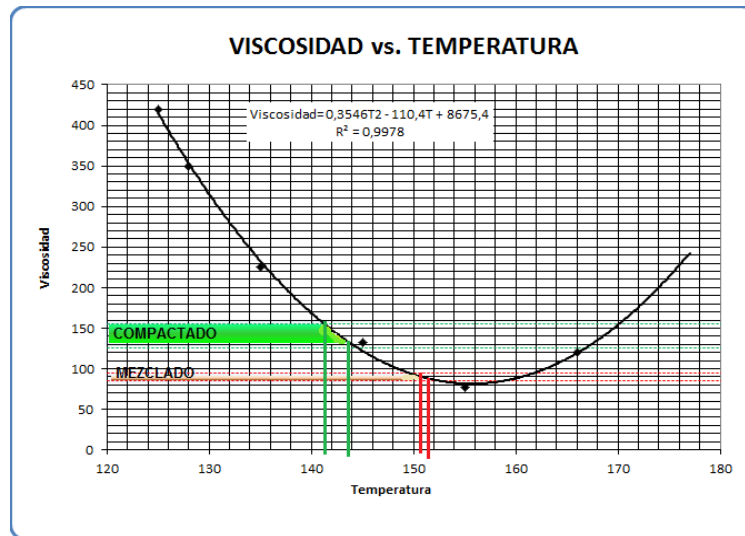
Tabla-3.30 – Resultado de Viscosidad Saybolt asfalto convencional

Fuente: Elaboración propia

| Punto | Temperatura | Viscosidad |
|-------|-------------|------------|
| 1 | 125 | 420 |
| 2 | 128 | 350 |
| 2 | 135 | 226 |
| 3 | 145 | 132 |
| 4 | 155 | 77 |
| 5 | 166 | 120 |

Tabla-3.31 - Viscosidad a diferente temperatura asfalto convencional

Fuente: elaboración propia



Grafica3.10 - Temperatura vs viscosidad asfalto convencional

Fuente: elaboración propia

a).- Mezclado Especificación: Viscosidad 85 - 95 Saybolt Furol
Temperatura 152 y 155 °C

b).- Compactado Especificación: Viscosidad 125-155 Saybolt Furol
Temperatura 142 y 144 °C

3.4.3 Punto de reblandecimiento Anillo y Bola ASTM D 36

3.4.3.1 Objetivo.

- ✓ Este método se utiliza para determinar el punto de ablandamiento del betún en el intervalo de 30° a 157° C (86° a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C). Se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una muestra sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua oglicerina
- ✓ Este ensayo mide de forma indirecta la consistencia y equivale a una temperatura de equiviscosidad en las condiciones de ensayo. Junto a la penetración a 25° C, permite calcular el índice de penetración y estimar mediante su valor la susceptibilidad de los asfaltos.

3.4.3.2 Procesamiento

- ✓ Se homogeniza su contenido con una espátula.
- ✓ Verter una pequeña muestra de betún caliente en cada anillo, posterior a esto permitir que las muestras se enfríen a temperatura ambiente por un periodo mínimo de 30 minutos.
- ✓ Una vez que las muestras se encuentren frías, cortar el exceso de betún sobre la parte superior del anillo con un cuchillo o espátula ligeramente caliente, de modo que el betún quede al ras y a nivel con el anillo.

- ✓ Monte el aparato con los anillos, guías de centrado de la bola, y el termómetro en posición. Llene la bañera de modo que la profundidad del líquido sea de 105 ± 3 mm con el aparato en su lugar.
- ✓ Coloque las esferas en las guías y sumerja el aparato en el medio del baño correspondiente.
- ✓ Calentar el baño de tal manera que la temperatura se incremente en rangos de 5°C cada minuto.
- ✓ Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas registradas no deben diferir entre sí en más de 1°C , de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.



Figura-3.40 –Colocación del betún en el anillo

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.41– Colocación de esferas sobre anillos

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.42– Aparato sumergido

Fuente: Elaboración propia

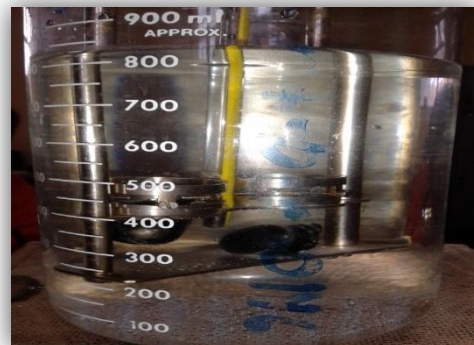


Figura- 3.43– Registro de temperatura

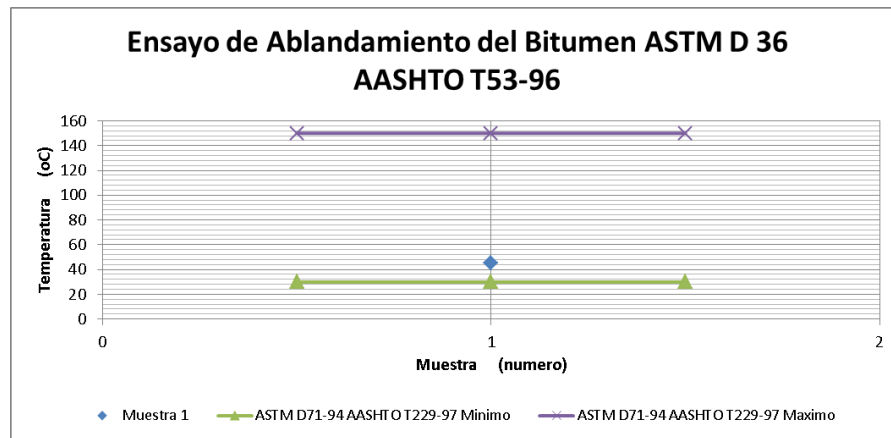
Fuente: Elaboración propia

3.4.3.3 Cálculo y resultados

| MUESTRA | TEMPERATURA (oC) |
|----------|------------------|
| 1 | 46 |
| | 46 |
| 2 | 44.5 |
| | 43.5 |
| PROMEDIO | 45 |

Tabla-3.32 Resultado del punto de ablandamiento

Fuente. Elaboración propia



Gráfica 3.11 - Ensayo de Ablandamiento

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Ensayo de peso específico ASTM D-70.

3.4.4.1 Objetivo

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

3.4.4.2 Procesamiento

- ✓ Picnómetro.
- ✓ Baño de agua.

- ✓ Termómetro.
- ✓ Recipiente de vidrio boca ancha de 600ml.
- ✓ Balanza $A \pm 0.01$ gr.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Asfalto.

3.4.4.3 Procesamiento

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

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

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

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

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

Verterlo una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Tomar precaución para evitar que el material se ponga en contacto con las paredes del

picnómetro por encima del nivel final y para evitar la inclusión de burbujas de aire. Dejar enfriar el picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y pesar con el tapón con aproximación a 1 mg. El peso del picnómetro con la muestra, se designa como C.

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

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

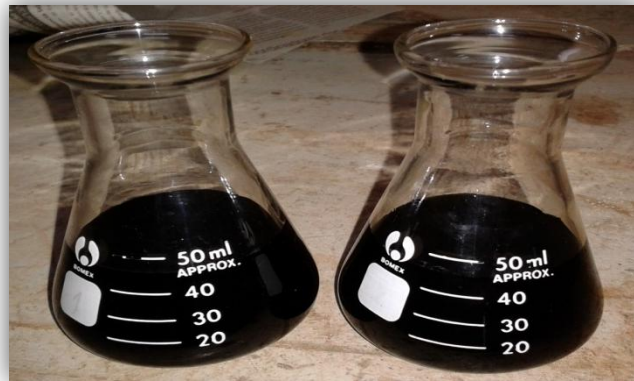


Figura-3.44– Muestras de asfalto

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.45– Registro de peso Picnómetro + asfalto + agua

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.4 Cálculo y resultado

| | | | |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------|-------|
| Peso Picnómetro | [g] | A | 73,2 |
| Peso Picnómetro + Agua (25°C) | [g] | B | 168,5 |
| Peso Picnómetro + Muestra | [g] | C | 133,1 |
| Peso Picnómetro + Agua + Muestra | [g] | D | 169 |
| Gravedad Especifica (Gb) | [g/cm ³] | $\frac{C-A}{(B-A)-(D-C)}$ | 1,008 |

Tabla- 3.33 - Resultado de la gravedad específica de asfalto convencional

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5 Puntos de inflamación copa abierta de Cleveland ASTM D-92

3.4.5.1 Objetivo

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

3.4.5.2 Procesamiento

- ✓ Arme el aparato sobre una mesa nivelada en una pieza sin corrientes de aire; ubique el protector alrededor del aparato de encendido, afirmado por algún medio adecuado que permita la lectura del Punto de Inflamación.
- ✓ Lave la copa de ensaye con un solvente apropiado y quite cualquier aceite o vestigios pegados o residuos remanentes de ensayos anteriores. Si hay depósitos de carbón remuévalos con una esponja de acero. Limpie la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y elimine los últimos indicios de solvente y agua. Enfríe la copa por lo menos a 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado antes de usarla.

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

dirección opuesta. El tiempo consumido en pasar la llama a través de la copa será cercano a 1 s. Durante los últimos 17°C , suba la temperatura previo al Punto de Inflamación.

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



Figura-3.46 – Medición de la temperatura

Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.47– Punto de Combustión

Fuente: Elaboración propia

3.4.5.3 Resultado

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

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

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

| Presion Barometrica (mm de mercurio) | Correccion (oC) |
|---|--------------------|
| 715 - 665 | 2 |
| 664 - 610 | 4 |
| 609 - 550 | 6 |

Tabla- 3.34 - Valores de corrección del punto de Inflamación

Fuente: Manual de carreteras Ensayos de laboratorio de asfalto de ABC

| MUESTRA | Presion Barometrica (TARIJA) (mm de mercurio) | Correccion (oC) | Punto de inflamacion oC |
|---------|--|--------------------|-------------------------|
| 1 | 609 - 550 | 6 | 286 |

Tabla-3.35 - Resultado del punto de Inflamación asfalto convencional

Fuente: Elaboración Propia

3.4.6 Ensayo de ductilidad en el asfalto ASTM 113

3.4.6.1 Objetivo

Determinar distancia en centímetros en un equipo denominado “ductilómetro” mediante una prueba de “extensión” en donde una probeta de ligante asfáltico es extendida o estirada a una velocidad de 5 cm/minuto, en un baño de agua de igual densidad y una temperatura $25^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

3.4.6.2 Equipo

- ✓ Moldes.
- ✓ Placa.
- ✓ Baño de agua.
- ✓ Ductilómetro.
- ✓ Termómetro.
- ✓ Espátula
- ✓ Asfalto

3.4.6.3 Procedimiento

- ✓ Regule el ductilómetro a la temperatura de $25^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Asegúrese que la flecha este en cero.
- ✓ Recubra el plato base y las paredes internas de las piezas laterales con lubricante para evitar que la muestra se pegue en las paredes del molde.
- ✓ Ensamble el molde con las mordazas y las piezas laterales sobre la placa base
- ✓ Se calienta la muestra hasta fluidificarla, y se la vacía en los moldes sin hacer burbujas, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase.
- ✓ Se deja enfriar los moldes por 30 minutos a temperatura ambiente.
- ✓ Después de enfriarlas coloque en el baño del ductilómetro a temperatura especificada por 30 minutos.
- ✓ Se enraza los moldes con una espátula o cuchillo caliente para eliminar el exceso de asfalto en los moldes. Coloque nuevamente los moldes en el baño por 30 minutos.
- ✓ Después de 90 minutos se quita las piezas laterales del molde y separe la briqueta de la base. Se fija las briquetas con sus mordazas en el ductilómetro sujetando los extremos de estas en los postes o ganchos de la máquina del ensayo.
- ✓ Se enciende el motor, y fije la flecha a la barra y jale la muestra con una velocidad de 5cm por minuto, hasta producir una ruptura en la briqueta.

- ✓ Si durante el ensayo, el material bituminoso al estirarse tiene tendencia a subir hasta la superficie del agua o tocar la placa de fondo del ductilómetro, deberá ajustarse la densidad relativa del agua a la del material ensayado, añadiendo cloruro de sodio, hasta conseguir que el hilo quede lo más recto posible, sin elevarse o descender.



Figura- 3.48 – Preparación de briquetas
Fuente: Elaboración propia



Figura-3.49 –Briquetas con material
Fuente: Elaboración propia



Figura- 3.50– Elongación del asfalto en el equipo ductilómetro
Fuente: Elaboración propia

3.4.6.4 Cálculo y resultado

| Nº de lectura | Longitud de alargamiento (cm) | Velocidad de ensayo (cm/min) | Temperatura de ensayo (°C) |
|---------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | 115 | 5 | 25 |
| 2 | 113 | 5 | 25 |
| 3 | 121 | 5 | 25 |
| Promedio | 116,3 | | |

Tabla- 3.36- Resultado del ensayo de ductilidad asfalto convencional

Fuente: Elaboración propia

3.5 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

3.5.1 Método de Diseño Marshall Convencional AASHTO T 245

3.5.1.1 Objetivo

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

3.5.1.2 Resumen del metodo

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

3.5.1.3 Equipo y materiales

- ✓ **Moldes de Compactación:** Se conforman de una placa de base plana con su molde y collar de extensión cilíndricos. El molde deberá tener un diámetro interior de 4" y una altura aproximada de 3", la placa de base y el collarín deberán ser intercambiables o sea que se deberán ajustar en los dos extremos de los moldes
- ✓ **Extractor:** Que sirva para sacar las briquetas del molde
- ✓ **Martillo de compactación:** Consiste en una cara circular de 100mm. De diámetro equipada con un peso de 4.515 ± 15 gr. (10lb) Y construido de modo de obtener una altura de caída de 460 ± 2 mm.
- ✓ **Pedestal de compactación:** Consiste en un poste de madera de 205 x 205 x 455 mm. Cubierto con una placa de acero de 305 x305 x25 mm. Debe estar empotrado y quedar firmemente afianzada y a nivel.
- ✓ **Sujetador de molde:** Consiste en un aro con resorte diseñado para mantener centrado y fijo el molde en el pedestal durante la compactación.
- ✓ **Mordaza:** Son dos segmentos de cilindro (superior e inferior) con un radio interno de 51 ± 0.2 mm. Diseñado para transmitir la carga.
- ✓ **Maquina Marshall:** Aparato eléctrico diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo a una velocidad de deformación de 50 ± 1 mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrada para determinar la carga aplicada de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45 N. con un dial graduado de 0.0025 mm. Y un medidor de flujo con una precisión de 0.01 mm. Para determinar la deformación que se produce en la carga máxima.
- ✓ **Horno**
- ✓ **Baño de agua:** Deberá ser controlado termostáticamente a 60 ± 1 :C y también contara con un fondo falso y un termómetro centrado y fijo.

3.5.1.4 Evaluación de agregados

Calidad de control de los agregados pétreos mediante los ensayos de caracterización de los agregados.

| Ensayos | Unidades | Normas | Resultado | Especificación |
|--|----------|------------|--|----------------|
| De consenso | | | | |
| Angularidad del agregado grueso | [%] | | ASTM D5821 Grava = 95,7 Gravilla = 99,5 | 75 min |
| Partículas planas y alargadas | [%] | | ASTM D4791 0,4 | 10% máx. |
| Equivalente de arena | [%] | AASHTO 176 | ASTM241 9 Arena trit. Gruesa = 90,48 Arena trit. Media = 73,87 Arena trit. Fina = 41,96 Arena nat. Gruesa = 90,7 Arena nat. Media = 86,73 Arena nat. Fina = 53,57 | 45% mín. |
| De origen | | | | |
| Desgaste de los Ángeles | [%] | | ASTM C131 Grava = 22,92 Gravilla = 23,08 | 35% máx |
| Peso unitario de los agregados gruesos (Suelto y Compactado) | [%] | | Grava (suelto) = 1,378 Gravilla(suelto) = 1,379 Grava (compactado) = 1,513 Gravilla(compactado) = 1,461 | — |
| Peso unitario de los agregados finos (Suelto y Compactado) | [%] | | Grava (suelto) = 1,378 Gravilla(suelto) = 1,379 Grava (compactado) = 1,513 Gravilla(compactado) = 1,461 | — |
| Densidades | | | | |
| Gravedad específica seca agregado grueso | [Adim.] | AASHTO T85 | ASTM C127 Grava = 2,690 Gravilla = 2,682 | — |
| Absorción del agregado grueso | [%] | AASHTO T85 | ASTM C127 Grava = 1,01 Gravilla = 1,31 | — |
| Gravedad específica seca agregado fino | [Adim.] | | ASTM C128 Arena trit. Gruesa = 2,693 Arena trit. Media = 2,708 Arena trit. Fina = 2,734 Arena nat. Gruesa = 2,681 Arena nat. Media = 2,699 Arena nat. Fina = 2,713 | — |
| Absorción del agregado fino | [%] | | ASTM C128 Arena trit. Gruesa = 1,82 Arena trit. Media = 2,18 Arena trit. Fina = 2,56 Arena nat. Gruesa = 1,50 Arena nat. Media = 2,04 Arena nat. Fina = 3,38 | — |

Tabla-3.37 - Resumen de los resultados de caracterización de materiales pétreos

Fuente: Elaboración propia

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

Gravedad Específica seca o bulk de la combinación de agregados (Gsb)

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Gsb: Gravedad Especifica seca o bulk de la combinación de agregados

P1, P2, ..Pn: Porcentaje por Peso de los Agregados

G1, G2, ...G3:Gravedad Especifica seca o buk de cada agregado

Las gravedades específicas de la granulometría 1 convencional de los materiales las cuales se han obtenido por medio de cada uno de los ensayos respectivos son las siguientes:

- Agregado 3/4" → G1 = 2,690
- Agregado 3/8" → G2 = 2,682
- Arena → G3 = 2,693
- Asfalto → Gasf = 1,008

$$Gsb = \frac{25 + 25 + 50}{\frac{25}{2,690} + \frac{25}{2,682} + \frac{50}{2,693}} = 2,689$$

De manera resumida se tiene las gravedades específicas bulk de las granulometrías estudiadas.

| Gravedad especifica seca o bulk | Gsb |
|---------------------------------|-------|
| Granulometría 1 Convencional | 2,689 |
| Granulometría 2 Convencional | 2,697 |
| Granulometría 3 Convencional | 2,710 |

| | |
|------------------------------|-------|
| Granulometría 4 Convencional | 2,683 |
| Granulometría 5 Convencional | 2,692 |
| Granulometría 6 Convencional | 2,699 |

Tabla- 3.38 - Resultado de Gravedades específicas bulk de la combinación de los agregados

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.5. Evaluación del cemento asfáltico convencional

Se determina el grado apropiado de cemento asfáltico Ipiranga C.A. 85-100, según el tipo y ubicación geográfica del proyecto, así la gravedad específica del cemento asfáltico (Ga) tiene igual a 1,008 que se determinó en la caracterización de los ensayos de asfalto.

| Ensayos | Unidades | Normas | | Resultado | Especificación |
|----------------------------|-------------------|--------------|------------|-----------|----------------|
| Penetración | [dmm] | AASHTO T49 | ASTM D5 | 89,0 | 85 – 100 |
| Viscosidad Saybolt Furol | ° C | AASHTO T5997 | ASTM D244 | 92,0 | 85min |
| Punto de ablandamiento | ° C | AASHTO T53 | ASTM D36 | 45 | 30 – 150 |
| Gravedad específica a 25°C | g/cm ³ | ASSHTO T229 | ASTM D71 | 1,008 | — |
| Punto inflamación | °C | AASHTO T79 | ASTM D1310 | 286,0 | 232 min |
| Ductilidad a 25°C | cm | | ASTM D 113 | 116,3 | 100 min |

Tabla-3.39 - Resumen de control de calidad asfalto convencional

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.6 Preparación de los Especímenes Marshall

3.5.1.6.1 Dosificación de agregados para una briqueta

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

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

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

Nuestro diseño utilizará tres tamaños de agregado con sus respectivos porcentajes establecidos que son: Agregado Grueso 3/4" , Agregado Medio 3/8" y Arena ; pero ahora, para poder hacer una briqueta de 1200 g se tienen cuatro fracciones de agregado, lo cual implica que se deben pesar cuatro cantidades, una de cada fracción para complementar una dosificación de agregado para una elaboración de una briqueta; para éstas fracciones no tenemos todavía un porcentaje establecido por lo que se procede a calcularlo de las granulometrías propuestas que se obtuvo al combinar los tres agregados.

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

$$\% \text{Retenido} = \% \text{ que pasa}_{\text{superior}} - \% \text{ que pasa}_{\text{inferior}}$$

| Tamiz | | GRANULOMETRIAS (Material Triturado) | | | | | |
|------------|---------|---------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------|
| | | Granulometría 1 | | Granulometría 2 | | Granulometría 3 | |
| | | Convencional con (Arena Gruesa) | | Convencional con (Arena Media) | | Convencional con (Arena Fina) | |
| Pasa | Retiene | % que pasa | % retenido | % que pasa | % retenido | % que pasa | % retenido |
| 1" | 3/4" | 100,00 | 1,83 | 100,00 | 1,83 | 100,00 | 1,83 |
| 3/4" | 1/2" | 98,18 | 14,53 | 98,18 | 14,53 | 98,18 | 14,53 |
| 1/2" | 3/8" | 83,65 | 8,63 | 83,65 | 8,63 | 83,65 | 8,63 |
| 3/8" | N°4 | 75,03 | 28,78 | 75,03 | 23,23 | 75,03 | 21,78 |
| N°4 | N°10 | 46,25 | 7,93 | 51,80 | 6,97 | 53,25 | 5,30 |
| N°10 | N°16 | 38,33 | 11,24 | 44,83 | 9,44 | 47,95 | 9,57 |
| N°16 | N°40 | 27,09 | 16,64 | 35,39 | 13,04 | 38,39 | 13,76 |
| N°40 | N°50 | 10,45 | 2,51 | 22,35 | 6,76 | 24,63 | 6,76 |
| N°50 | N°80 | 7,94 | 1,84 | 15,59 | 4,97 | 17,87 | 5,47 |
| N°80 | N°200 | 6,10 | 2,43 | 10,63 | 4,05 | 12,40 | 2,33 |
| pasa N°200 | | 3,68 | 3,68 | 6,58 | 6,58 | 10,08 | 10,08 |

Tabla- 3.40- Porcentaje calculado para cada fracción del agregado (Material Triturado)

Fuente: Elaboración Propia

| Tamiz | | GRANULOMETRIAS (Material Natural) | | | | | |
|------------|---------|--|---------------|---|---------------|--|------------|
| | | Granulometría 4 Convencional con (Arena Gruesa) | | Granulometría 5 Convencional con (Arena Media) | | Granulometría 6 Convencional con (Arena Fina) | |
| Pasa | Retiene | % que pasa | % retenido | % que pasa | % retenido | % que pasa | % retenido |
| 1" | 3/4" | 100,00 | 1,83 | 100,00 | 1,83 | 100,00 | 1,83 |
| 3/4" | 1/2" | 98,18 | 14,53 | 98,18 | 14,53 | 98,18 | 14,53 |
| 1/2" | 3/8" | 83,65 | 8,63 | 83,65 | 8,63 | 83,65 | 8,63 |
| 3/8" | N°4 | 75,03 | 28,40 | 75,03 | 22,08 | 75,03 | 21,43 |
| N°4 | N° 10 | 46,63 | 7,75 | 52,95 | 8,85 | 53,60 | 6,38 |
| N°10 | N°16 | 38,88 | 11,94 | 44,10 | 11,72 | 47,23 | 9,74 |
| N°16 | N°40 | 26,94 | 16,71 | 32,39 | 13,26 | 37,49 | 13,09 |
| N°40 | N°50 | 10,23 | 2,84 | 19,13 | 8,06 | 24,40 | 6,26 |
| N°50 | N°80 | 7,39 | 1,84 | 11,07 | 4,42 | 18,14 | 5,54 |
| N°80 | N°200 | 5,55 | 2,43 | 6,65 | 2,58 | 12,60 | 2,73 |
| pasa N°200 | | 3,13 | 3,13 | 4,08 | 4,08 | 9,88 | 9,88 |

Tabla-3.41 - Porcentaje calculado para cada fracción del agregado (Material Natural)

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.6.2 Porcentaje óptimo de cemento asfalto

El porcentaje de cemento asfáltico para cada dosificación se tomará 5,5 %.

| GRANULOMETRIAS | % de C.A. |
|------------------------------|-----------|
| Granulometría 1 Convencional | 5,5 |
| Granulometría 2 Convencional | 5,5 |
| Granulometría 3 Convencional | 5,5 |
| Granulometría 4 Convencional | 5,5 |
| Granulometría 5 Convencional | 5,5 |
| Granulometría 6 Convencional | 5,5 |

Tabla- 3.42 - Porcentajes de Cemento Asfálticos de las granulometrías

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.6.3 Dosificación de agregado y asfalto

A continuación se ejemplifica el cálculo de los diferentes pesos de agregados para cada una de las fracciones, de acuerdo a los porcentajes establecidos.

Cálculo Para una Briqueta.

Para ejemplificar el cálculo se utilizará la granulometría 1, la dosificación completa para una briqueta de 1200 gramos con 5 % C.A. (Cemento Asfáltico)

$$W_{\text{briqueta}} = 1200 \text{ g}$$

$$1200 \text{ g} \times 5,5 \% = 66 \text{ g de C.A.}$$

$$1200 \text{ g} \times 94,5\% = 1134 \text{ g de agregado}$$

$$100 \% = 1200 \text{ g peso total en mezcla}$$

| PARA UNA BRIQUETA DE | | | 1200 | g |
|----------------------|---------|----------------------------|-----------|----------------------|
| | 5,5% | de C.A. (g) | 66 | g |
| | 94,5% | agregado (g) | 1134 | g |
| TAMICES | | GRANULOMETRIA ARENA GRUESA | | Peso de agregado (g) |
| Pasa | Retiene | Pasa% | Retiene % | |

| | | | | |
|----------------------|-------|--------|----------|--------|
| 1" | 3/4" | 100,00 | 1,83 | 20,7 |
| 3/4" | 1/2" | 98,18 | 14,53 | 164,7 |
| 1/2" | 3/8" | 83,65 | 8,63 | 97,8 |
| 3/8" | N°4 | 75,03 | 28,78 | 326,3 |
| N°4 | N° 10 | 46,25 | 7,93 | 89,9 |
| N°10 | N°16 | 38,33 | 11,24 | 127,5 |
| N°16 | N°40 | 27,09 | 16,64 | 188,6 |
| N°40 | N°50 | 10,45 | 2,51 | 28,5 |
| N°50 | N°80 | 7,94 | 1,84 | 20,9 |
| N°80 | N°200 | 6,10 | 2,43 | 27,5 |
| Pasa por malla N°200 | | 3,68 | | 41,7 |
| Σ | | | | 1134,0 |
| Asfalto | | | | 66 |
| Peso de la Briqueta | | | Σ | 1200,0 |

Tabla-3.43- Dosificación para una briqueta de 1200 g de 5,5% de C.A.
Fuente: Elaboración propia

Los cálculos para las diferentes dosificaciones para las briquetas de acuerdo a su porcentaje respectivo de material granular se realizan de la misma forma que los ejemplos en las secciones anteriores, a continuación se presenta todo los datos calculados de material granular.

| GRANULOMETRIAS 1, 2 y 3 (Agregados Triturados) | | C.A. | 5,50% | C.A. | 5,50% | C.A. | 5,50% |
|--|---------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|
| | | agregado | 94,50% | agregado | 94,50% | agregado | 94,50% |
| TAMIZ | | Peso (g) | 1134 | Peso (g) | 1134 | Peso (g) | 1134 |
| Pasa | Retiene | % retenido | Peso de agregado (g) | % retenido | Peso de agregado (g) | % retenido | Peso de agregado (g) |
| 1" | 3/4" | 1,83 | 20,7 | 1,83 | 20,7 | 1,83 | 20,70 |
| 3/4" | 1/2" | 14,53 | 164,7 | 14,53 | 164,7 | 14,53 | 164,70 |
| 1/2" | 3/8" | 8,63 | 97,8 | 8,63 | 97,8 | 8,63 | 97,80 |
| 3/8" | N°4 | 28,78 | 326,3 | 23,23 | 263,4 | 21,78 | 246,90 |
| N°4 | N° 10 | 7,93 | 89,9 | 6,97 | 79,1 | 5,3 | 60,10 |
| N°10 | N°16 | 11,24 | 127,5 | 9,44 | 107 | 9,57 | 108,50 |
| N°16 | N°40 | 16,64 | 188,6 | 13,04 | 147,8 | 13,76 | 156,00 |
| N°40 | N°50 | 2,51 | 28,5 | 6,76 | 76,7 | 6,76 | 76,70 |
| N°50 | N°80 | 1,84 | 20,9 | 4,97 | 56,3 | 5,47 | 62,00 |

| | | | | | | | |
|----------------------|-------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| N°80 | N°200 | 2,43 | 27,5 | 4,05 | 45,9 | 2,33 | 26,40 |
| Pasa por malla N°200 | | | 41,7 | | 74,6 | | 114,30 |
| Σ | | | 1134 | 1134 | 1134 | 1134 | 1134 |
| asfalto (g) | | | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 |
| Σ | | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |

Tabla-3.44 – Dosificación de agregados triturados y asfalto para una briqueta de 1200 g

Fuente: Elaboración Propia

| GRANULOMETRIAS 4, 5 y 6 (Agregados Naturales) | | C.A. | 5,50% | C.A. | 5,50% | C.A. | 5,50% |
|---|---------|------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|
| TAMIZ | | agregado | 94,50% | agregado | 94,50% | agregado | 94,50% |
| Pasa | | Peso (g) | 1134 | Peso (g) | 1134 | Peso (g) | 1134 |
| Pasa | Retiene | % retenido | Peso de agregado (g) | % retenido | Peso de agregado (g) | % retenido | Peso de agregado (g) |
| 1" | 3/4" | 1,83 | 20,7 | 1,83 | 20,7 | 1,83 | 20,7 |
| 3/4" | 1/2" | 14,53 | 164,7 | 14,53 | 164,7 | 14,53 | 164,7 |
| 1/2" | 3/8" | 8,63 | 97,8 | 8,63 | 97,8 | 8,63 | 97,8 |
| 3/8" | N°4 | 28,4 | 322,1 | 22,08 | 250,3 | 21,43 | 243 |
| N°4 | N° 10 | 7,75 | 87,9 | 8,85 | 100,4 | 6,38 | 72,3 |
| N°10 | N°16 | 11,94 | 135,4 | 11,72 | 132,8 | 9,74 | 110,5 |
| N°16 | N°40 | 16,71 | 189,5 | 13,26 | 150,4 | 13,09 | 148,4 |
| N°40 | N°50 | 2,84 | 32,1 | 8,06 | 91,4 | 6,26 | 71 |
| N°50 | N°80 | 1,84 | 20,9 | 4,42 | 50,1 | 5,54 | 62,8 |
| N°80 | N°200 | 2,43 | 27,5 | 2,58 | 29,2 | 2,73 | 30,9 |
| Pasa por malla N°200 | | | 35,4 | | 46,2 | | 112 |
| Σ | | | 1134 | 1134 | 1134 | 1134 | 1134 |
| asfalto (g) | | | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 |
| Σ | | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |

Tabla-3.45 - Dosificaciones de agregado natural y asfalto para una briqueta de 1200 g

Fuente: Elaboración Propia



Figura-3.51- Paquetes de 1200 g para las briquetas

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.7 Preparación de la mezcla

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



Figura-3.52- Bandejas separadas para cada briqueta la cantidad necesaria
Fuente: Elaboración Propia



Figura- 3.53 –Muestra en el horno a una T 30°C
Fuente: Elaboración Propia



Figura- 3.54– Peso de muestra + asfalto
Fuente: Elaboración Propia



Figura- 3.55 – preparación de la mezcla

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.8 Compactación de Briquetas

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



Figura-3.56– Preparación del molde
Fuente: Elaboración Propia



Figura-3.57– Disco de papel filtro
Fuente: Elaboración Propia



Figura-3.58 – Lectura de temperatura
Fuente: Elaboración Propia



Figura- 3.59– Llenado del molde
Fuente: Elaboración Propia



Figura-3.60– Compactación de 75 golpes
Fuente: Elaboración Propia



Figura-3.61– Desmolde de la briqueta
Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.9 Gravedad Específica Bulk mezcla compactada (Gmb)

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

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



Figura- 3.62– Peso seco
Fuente: Elaboración Propia



Figura-3.63 – Peso sat. Superf. Seco
Fuente: Elaboración Propia



Figura- 3.64- Peso sumergido en agua
Fuente: Elaboración Propia

Calculo:

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

Porcentaje de C.A.= 5,5% :

$$G_{mb1} = \frac{1184,8}{1185 - 685} = 2,370$$

$$G_{mb2} = \frac{1172,4}{1173,6 - 681,2} = 2,381$$

$$G_{mb3} = \frac{1170,5}{1172 - 679,1} = 2,375$$

$$G_{mb4} = \frac{1184,8}{1185,5 - 684,5} = 2,365$$

$$G_{mb5} = \frac{1172,4}{1173,6 - 680,8} = 2,379$$

Valor promedio:

$$G_{mb3} = \frac{2,370 + 2,381 + 2,375 + 2,365 + 2,379}{5} = 2,374$$

Para la granulometría con material triturado se tiene:

| % de C.A. | BRIQUETA | Gravedad Especifica Bulk (Gmb) | | | | |
|-----------|----------|--------------------------------|-----------------|------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | peso al aire (g) | Peso s.s.s. (g) | Peso en agua (G) | Volumen (cm ³) | Gravedad Especifica Bulk |
| 5,5% | 1 | 1184,8 | 1185 | 685,0 | 500,0 | 2,370 |
| | 2 | 1172,4 | 1173,6 | 681,2 | 492,4 | 2,381 |
| | 3 | 1170,5 | 1172,0 | 679,1 | 492,9 | 2,375 |
| | 4 | 1184,8 | 1185,5 | 684,5 | 501,0 | 2,365 |
| | 5 | 1172,4 | 1173,6 | 680,8 | 492,8 | 2,379 |
| | | | | | | 2,374 |
| 5,5% | 1 | 1178,5 | 1178,9 | 687,1 | 491,8 | 2,396 |
| | 2 | 1183,7 | 1183,7 | 690,0 | 493,7 | 2,398 |
| | 3 | 1186,0 | 1186,5 | 688,9 | 497,6 | 2,383 |
| | 4 | 1183,7 | 1183,7 | 689,2 | 494,5 | 2,394 |
| | 5 | 1186,0 | 1186,5 | 690,0 | 496,5 | 2,389 |
| Promedio | | | | | | 2,392 |
| 5,5% | 1 | 1195,0 | 1196,3 | 700,8 | 495,5 | 2,412 |
| | 2 | 1207,8 | 1209,0 | 708,9 | 500,1 | 2,415 |
| | 3 | 1175,9 | 1176,9 | 689,6 | 487,3 | 2,413 |
| | 4 | 1195,0 | 1196,3 | 699,0 | 497,3 | 2,403 |
| | 5 | 1175,9 | 1176,9 | 690,0 | 486,9 | 2,415 |
| Promedio | | | | | | 2,412 |

Tabla-3.46 - Resultados de gravedades específicas (Gmb)

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.10 Calculo de las Propiedades volumétricas

3.6.1.10.1 Porcentaje de Vacíos en Total de la Mezcla (VTM)

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

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

ha efectuado correctamente, la gravedad específica bulk siempre será menor que la gravedad específica teórica máxima.

La fórmula para calcular el porcentaje de vacíos es la siguiente: $100 \cdot \frac{J-F}{J}$

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

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

Gmm= Densidad máxima teórica de la mezcla de pavimentación.

Gmb= Densidad promedio de la mezcla compactada

Como ejemplo de cálculo para una briqueta de 5,5 % de asfalto residual se tiene:

Briqueta 1:

Gmm = 2,463

Gmb = 2,374

$$\% VTM = 100 * \frac{2,463 - 2,374}{2,463} = 3,62$$

Para la granulometría con material triturado se tiene:

| Granulometría CONVENCIONAL (Material triturado) | | | |
|---|-------------------------|-------------------------------|----------|
| % C.A. | Densidad promedio [Gmb] | Densidad máxima teórica [Gmm] | % V.T.M. |
| 5,5 | 2,374 | 2,463 | 3,62 |
| 5,5 | 2,392 | 2,469 | 3,14 |
| 5,5 | 2,412 | 2,480 | 2,75 |

Tabla- 3.47- Resultado de porcentaje de Vacíos en la Mezcla mat. Triturado (VTM)

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.10.2 Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

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

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

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

Dónde:

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

Gmb= Densidad de la mezcla compactada.

C.A. = Porcentaje de cemento asfáltico.

Como ejemplo de cálculo para una briqueta se tiene:

Briqueta 1:

Gmb= 2,374

Ga= 1,008

$$\% VAM = 3,62 \left(\frac{2,374 * 5,5}{1,008} \right)$$

Para la granulometría con material triturado se tiene:

| Granulometría CONVENCIONAL (Material triturado) | | | |
|---|--|-------------------------------|----------|
| % C.A. | Densidad de la mezcla compactada [Gmb] | Densidad Máxima Teórica [Gmm] | % V.A.M. |
| 5,5 | 2,374 | 2,463 | 16,58 |
| 5,5 | 2,392 | 2,469 | 16,19 |
| 5,5 | 2,412 | 2,480 | 15,91 |

Tabla-3.48 - Resultado de porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.10.3 R.B.V. (Vacíos llenos con asfalto)

Los vacíos llenos de asfalto, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA), que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca

asfalto y aire, mientras que el R.B.V. solamente abarca el asfalto que une a los agregados (asfalto efectivo), el valor de R.B.V. se expresa generalmente como un porcentaje.

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

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

Dónde:

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

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

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

Como ejemplo de cálculo para un contenido de 4% de asfalto residual se tiene:

VMA= 16,58

VTM= 3,62

$$\%VFA = 100 * \frac{16,58 - 3,62}{16,58} = 78,14$$

En la Tabla siguiente se presentan los valores obtenidos para los demás contenidos de asfalto residual.

Granulometría CONVENCIONAL (Material triturado)

| % C.A. | % V.T.M. | % V.A.M. | % R.B.V. |
|--------|----------|----------|----------|
| 5,5 | 3,62 | 16,58 | 78,14 |
| 5,5 | 3,14 | 16,19 | 80,62 |
| 5,5 | 2,75 | 15,91 | 82,73 |

Tabla- 3.49 - Resultado de porcentaje de Vacíos llenos de asfalto (R.B.V.)

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.11 Medición de la estabilidad y la fluencia

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

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

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

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

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

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



Figura- 3.65– Briquetas en baño de María

Fuente: Elaboración propia



Figura-3.66 – Determinación de Estabilidad y flujo

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta un ejemplo, de cómo se convierten las lecturas obtenidas, en los valores verdaderos de estabilidad.

La ecuación de mejor ajuste para el equipo Marshall de S.E.D.E.C.A del anillo de carga es la siguiente:

$$\text{Estabilidad} = (a * \text{Lec. anillo}^3 + b * \text{lec. anillo}^2 + c * \text{lec. anillo} + d) / e \quad [\text{Lb}]$$

Dónde: Lectura de anillo (O) = son los valores leídos en el dial.

$$a = 0,000004$$

$$b = -0,0038$$

$$c = 5,55$$

$$d = 11,768$$

$$e = 0,4536$$

Para la granulometría con material triturado se tiene:

Briqueta 1 → Lectura = 205 → h=6,18 cm

Briqueta 2 → Lectura = 215 → h=6,23 cm

Briqueta 3 → Lectura = 195 → h=6,24 cm

Briqueta 4 → Lectura = 208 → h=6,18 cm

Briqueta 5 → Lectura = 220 → h=6,23 cm

La corrección por altura se obtiene de la siguiente formula:

$$\text{Carga real corregida} = 0,0649 \cdot H^2 - 1,0872 \cdot H + 5,2874$$

Entonces tenemos que la Carga real corregida son:

$$E_{\text{stabilidad}} = 2364,683 \text{ libras}$$

$$E_{\text{stabilidad}} = 2434,977 \text{ libras}$$

$$E_{\text{stabilidad}} = 2224,148 \text{ libras}$$

$$E_{\text{stabilidad}} = 2395,796 \text{ libras}$$

$$E_{\text{stabilidad}} = 2485,820 \text{ libras}$$

$$E_{\text{stabilidad promedio}} = \frac{2364,683 + 2434,977 + 2224,148 + 2395,796 + 2485,820}{5}$$
$$= 2381 \text{ libras}$$

El cálculo del flujo para cada punto se obtiene simplemente multiplicando la lectura de cada briqueta por el factor de 0,03937 para convertirlo a 0,01 pulgadas, y luego se promedian los valores de las 5 briquetas.

Para la granulometría con material triturado se tiene:

Briqueta 1 → Lectura = 400 → Flujo $400 \times 0,03937 = 15,760$ [0,01 plg]

Briqueta 2 → Lectura = 385 → Flujo $385 \times 0,03937 = 15,169$ [0,01 plg]

Briqueta 3 → Lectura = 380 → Flujo $380 \times 0,03937 = 14,972$ [0,01 plg]

Briqueta 2 → Lectura = 400 → Flujo $400 \times 0,03937 = 15,760$ [0,01 plg]

Briqueta 3 → Lectura = 395 → Flujo $395 \times 0,03937 = 15,563$ [0,01 plg]

$$\text{Flujo.promedio} = \frac{15,760 + 15,169 + 14,972 + 15,760 + 15,563}{5} = 15,445 \text{ [0,01 plg]}$$

| Estabilidad (Lb) | | | | Flujo (0,01) | |
|-------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| Lectura de anillo | Altura de briqueta (cm) | Factor de correccion alt. Briqueta | Carga (Libras) | Lectura de anillo | Flujo (0,01 pulg.) |
| N | O | P | Q | R | S |
| | | | Ecuacion (1) | | R* 0,00394 |
| 205 | 6,18 | 1,047 | 2364,683 | 400 | 15,760 |
| 215 | 6,23 | 1,033 | 2434,977 | 385 | 15,169 |
| 195 | 6,24 | 1,030 | 2224,148 | 380 | 14,972 |
| 208 | 6,18 | 1,047 | 2395,796 | 400 | 15,760 |
| 220 | 6,23 | 1,033 | 2485,820 | 395 | 15,563 |
| | | | 2381 | | 15,445 |

Tabla-3.50 - Resultado de Estabilidad y flujo

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL

| | |
|--|---|
| Gravedad específica C.A. (Ga) = 1,008 | Granulometría CONVENCIONAL (Mat. Triturado) |
| Gravedad esp. Bulk agregado con (Arena triturada gruesa) (Gsb) = 2,689 | Cemento asfáltico 85 - 100 Ipiranga |
| Gravedad esp. Bulk agregado con (Arena triturada media) (Gsb) = 2,697 | Nºgolpes =75 |
| Gravedad esp. Bulk agregado con (Arena triturada fina) (Gsb) = 2,71 | |

| Nº Probeta | Altura de Probeta | % Asfalto | | Peso Probeta | | | Vol. Probeta | Densidad Probeta Densidad Real | Densidad Promedio | Densidad Máxima Teórica | % de Vacíos Mezcla Total | % de Vacíos (Vacíos Agregados Mineral) | R.B.V. (Relación Bitumen Vacíos) | LEC. DIAL | Estabilidad Marshall Carga | Factor corrección | Carga Real Corregida | Carga Promedio | Flujo (0,01) lectura del anillo | Flujo (0,01 pulg.) R* | | | | | | | | | | |
|------------|-------------------|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|--|----------------------------------|-----------|-------------------------------|-------------------|----------------------|----------------|------------------------------------|--------------------------|----|----------|----------|----------|---|---|---|--------|--------|--------|
| | | Base mezcla | Base Agregado | Seco | Sat. Sup. Seca | Sumergida en Agua | | | | | | | | | | | | | | | CC | Grs./cm3 | Grs./cm3 | Grs./cm3 | % | % | % | Libras | Libras | Libras |
| | | % | % | grs. | grs. | grs. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 6,18 | 5,5 | 5,8 | 1184,8 | 1185,0 | 685,0 | 500,0 | 2,370 | | | | | | 205,00 | 2258,12 | 1,047 | 2364,683 | | 400,00 | 15,76 | | | | | | | | | | |
| 2 | 6,23 | 5,5 | 5,8 | 1172,4 | 1173,6 | 681,2 | 492,4 | 2,381 | | | | | | 215,00 | 2356,96 | 1,033 | 2434,977 | | 385,000 | 15,169 | | | | | | | | | | |
| 3 | 6,24 | 5,5 | 5,8 | 1170,5 | 1172,0 | 679,1 | 492,9 | 2,375 | | | | | | 195,00 | 2158,69 | 1,030 | 2224,148 | | 380,000 | 14,972 | | | | | | | | | | |
| 4 | 6,18 | 5,5 | 5,8 | 1184,8 | 1185,5 | 684,5 | 501,0 | 2,365 | | | | | | 208,00 | 2287,83 | 1,047 | 2395,796 | | 400,000 | 15,76 | | | | | | | | | | |
| 5 | 6,23 | 5,5 | 5,8 | 1172,4 | 1173,6 | 680,8 | 492,8 | 2,379 | | | | | | 220,00 | 2406,17 | 1,033 | 2485,820 | | 395,000 | 15,563 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 2,374 | 2,463 | 3,62 | 16,58 | 78,14 | | | | | | 2381 | 15,4448 | | | | | | | | | | |
| 1 | 6,27 | 5,5 | 5,8 | 1178,5 | 1178,9 | 687,1 | 491,8 | 2,396 | | | | | | 218,000 | 2386,50 | 1,022 | 2439,157 | | 355 | 13,987 | | | | | | | | | | |
| 2 | 6,13 | 5,5 | 5,8 | 1183,7 | 1183,7 | 690,0 | 493,7 | 2,398 | | | | | | 215,000 | 2356,96 | 1,062 | 2502,159 | | 350 | 13,79 | | | | | | | | | | |
| 3 | 6,30 | 5,5 | 5,8 | 1186,0 | 1186,5 | 688,9 | 497,6 | 2,383 | | | | | | 220,000 | 2406,17 | 1,014 | 2439,669 | | 360 | 14,184 | | | | | | | | | | |
| 4 | 6,13 | 5,5 | 5,8 | 1183,7 | 1183,7 | 689,2 | 494,5 | 2,394 | | | | | | 228,000 | 2484,65 | 1,062 | 2637,719 | | 345 | 13,593 | | | | | | | | | | |
| 5 | 6,30 | 5,5 | 5,8 | 1186,0 | 1186,5 | 690,0 | 496,5 | 2,389 | | | | | | 225,000 | 2455,26 | 1,014 | 2489,439 | | 350 | 13,79 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 2,392 | 2,469 | 3,14 | 16,19 | 80,62 | | | | | | 2502 | 13,8688 | | | | | | | | | | |
| 1 | 6,18 | 5,5 | 5,8 | 1195,0 | 1196,3 | 700,8 | 495,5 | 2,412 | | | | | | 233,000 | 2533,55 | 1,047 | 2653,108 | | 300 | 11,82 | | | | | | | | | | |
| 2 | 6,25 | 5,5 | 5,8 | 1207,8 | 1209,0 | 708,9 | 500,1 | 2,415 | | | | | | 225,000 | 2455,26 | 1,028 | 2522,917 | | 290 | 11,426 | | | | | | | | | | |
| 3 | 6,23 | 5,5 | 5,8 | 1175,9 | 1176,9 | 689,6 | 487,3 | 2,413 | | | | | | 222,000 | 2425,82 | 1,033 | 2506,120 | | 280 | 11,032 | | | | | | | | | | |
| 4 | 6,18 | 5,5 | 5,8 | 1195,0 | 1196,3 | 699,0 | 497,3 | 2,403 | | | | | | 226,000 | 2465,06 | 1,047 | 2581,390 | | 300 | 11,82 | | | | | | | | | | |
| 5 | 6,23 | 5,5 | 5,8 | 1175,9 | 1176,9 | 690,0 | 486,9 | 2,415 | | | | | | 232,000 | 2523,78 | 1,033 | 2607,318 | | 250 | 9,85 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 2,412 | 2,480 | 2,75 | 15,91 | 82,73 | | | | | | 2574 | 11,1896 | | | | | | | | | | |

Tabla-3.51 Cuadro resumen diseño de mezcla asfáltica, Granulometría material triturado

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL

Gravedad específica C.A. (Ga) = 1,008 Granulometría CONVENCIONAL (Mat. natural)
 Gravedad esp. Bulk agregado con (Arena natural gruesa) (Gsb) = 2,683 Cemento asfáltico 85 - 100 Ipiranga
 Gravedad esp. Bulk agregado con (Arena natural media) (Gsb) = 2,692 Nºgolpes= 75
 Gravedad esp. Bulk agregado con (Arena natural fina) (Gsb) = 2,699

| Nº Probeta | Altura de Probeta | % Asfalto | | Peso Probeta | | | Vol. | Densidad Probeta | % de Vacíos | | | | | Estabilidad Marshall | Flujo (0,01) | | | | | |
|------------|-------------------|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------|-------------------|----------------------|----------------|--------------------|---------------------------|
| | | Base mezcla | Base Agregado | Seco | Sat. Sup. Seca | Sumergida en Agua | Probeta | Densidad Real | Densidad Promedio | Densidad Máxima Teórica | % de Vacíos Mezcla Total | V.A.M. (Vacíos Agregados Mineral) | R.B.V. (Relación Betumen Vacíos) | LEC. DIAL | Carga Marshall | Factor corrección | Carga Real Corregida | Carga Promedio | lectura del anillo | Flujo (0,01 pulg.) |
| | | % | % | grs. | grs. | grs. | CC | Grs./cm3 | Grs./cm3 | Grs./cm3 | % | % | % | | Libras | | Libras | Libras | | R ⁺ 0,00394 |
| 1 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1180,8 | 1181,6 | 680,0 | 501,6 | 2,354 | | | | | | 207,000 | 2277,93 | 1,025 | 2334,43394 | | 350 | 13,79 |
| 2 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1188,0 | 1188,6 | 684,5 | 504,1 | 2,357 | | | | | | 195,000 | 2158,69 | 1,011 | 2182,93992 | | 320 | 12,608 |
| 3 | 6,2 | 5,5 | 5,8 | 1178,2 | 1180,3 | 680,5 | 499,8 | 2,357 | | | | | | 210,000 | 2307,61 | 1,033 | 2383,99492 | | 325 | 12,805 |
| 4 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1188,0 | 1188,6 | 684,3 | 504,3 | 2,356 | | | | | | 190,000 | 2108,74 | 1,011 | 2132,42621 | | 340 | 13,396 |
| 5 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1180,8 | 1181,6 | 681,6 | 500,0 | 2,362 | | | | | | 195,000 | 2158,69 | 1,025 | 2212,23412 | | 360 | 14,184 |
| | | | | | | | | 2,357 | 2,458 | 4,12 | 16,98 | 75,75 | | | | | | 2249 | 13,3566 | |
| 1 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1181,0 | 1182,0 | 683,2 | 498,8 | 2,368 | | | | | | 196 | 2168,66 | 1,028 | 2228,42278 | | 305 | 12,017 |
| 2 | 6,2 | 5,5 | 5,8 | 1168,9 | 1169,3 | 675,6 | 493,7 | 2,368 | | | | | | 205 | 2258,12 | 1,050 | 2371,13413 | | 315 | 12,411 |
| 3 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1190,9 | 1192,0 | 688,1 | 503,9 | 2,363 | | | | | | 207 | 2277,93 | 1,019 | 2321,98029 | | 310 | 12,214 |
| 4 | 6,2 | 5,5 | 5,8 | 1168,9 | 1169,3 | 675,5 | 493,8 | 2,367 | | | | | | 205 | 2258,12 | 1,050 | 2371,13413 | | 315 | 12,411 |
| 5 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1181,0 | 1182,0 | 684,0 | 498,0 | 2,371 | | | | | | 206 | 2268,03 | 1,028 | 2330,52853 | | 300 | 11,82 |
| | | | | | | | | 2,367 | 2,465 | 3,97 | 16,89 | 76,47 | | | | | | 2325 | 12,1746 | |
| 1 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1188,0 | 1188,4 | 689,0 | 499,4 | 2,379 | | | | | | 222,00 | 2425,82 | 1,028 | 2492,66886 | | 225 | 8,865 |
| 2 | 6,2 | 5,5 | 5,8 | 1179,8 | 1181,5 | 683,4 | 498,1 | 2,369 | | | | | | 220,00 | 2406,17 | 1,036 | 2492,53799 | | 235 | 9,259 |
| 3 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1207,8 | 1209,5 | 703,8 | 505,7 | 2,388 | | | | | | 225,00 | 2455,26 | 1,009 | 2476,27056 | | 240 | 9,456 |
| 4 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1188,0 | 1188,4 | 689,0 | 499,4 | 2,379 | | | | | | 232,00 | 2523,78 | 1,028 | 2593,32334 | | 220 | 8,668 |
| 5 | 6,3 | 5,5 | 5,8 | 1207,8 | 1209,5 | 703,8 | 505,7 | 2,388 | | | | | | 219,00 | 2396,34 | 1,009 | 2416,84777 | | 230 | 9,062 |
| | | | | | | | | 2,381 | 2,471 | 3,66 | 16,65 | 78,03 | | | | | | 2494 | 9,062 | |

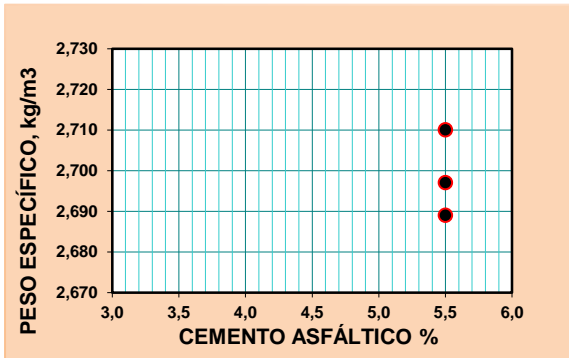
Tabla- 3.52 Cuadro resumen diseño de mezcla asfáltica, Granulometría material natural

Fuente: Elaboración propia

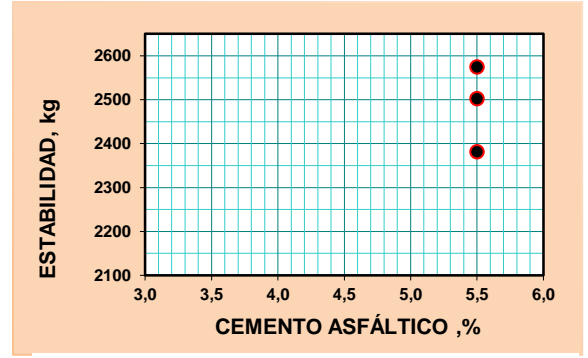
DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL

Granulometría: Material Triturado

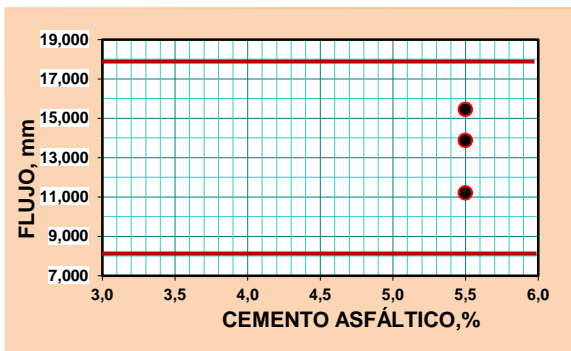
PESO ESPECIFICO VS C. ASFALTICO



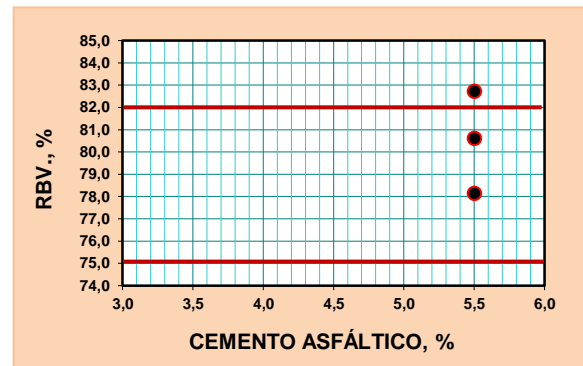
ESTABILIDAD VS C. ASFALTICO



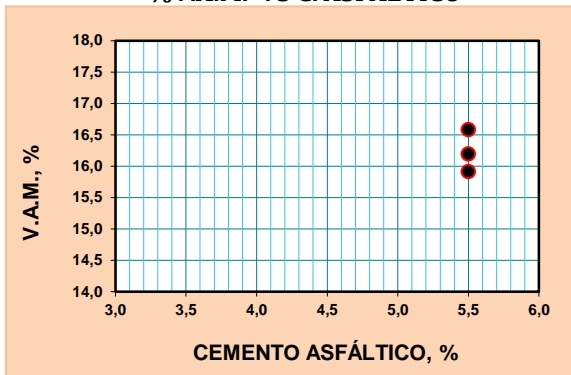
FLUJO (0,01 Plg.) VS C. ASFALTICO



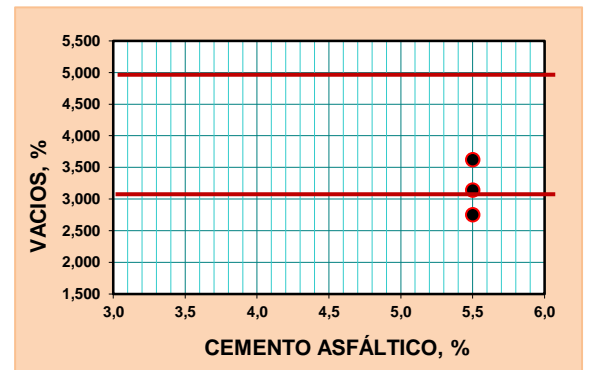
% R.B.V. VS C. ASFALTICO



%V.A.M. VS C. ASFALTICO



% VACIOS VS C. ASFALTICO



Grafica 3.12 Relaciones volumetricas de granulometria convencional

Fuente: Elaboracion propia

| CARACTERÍSTICAS MARSALL (Mezcla con Arena Triturada) | | | | | | |
|--|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| ASFALTO | PESO ESP | ESTABIL. | FLUJO | VACIOS | VAM | RBV |
| 5,5 | 2,689 | 2381 | 15,445 | 3,620 | 16,580 | 78,140 |
| 5,5 | 2,697 | 2502 | 13,869 | 3,140 | 16,190 | 80,620 |
| 5,5 | 2,710 | 2574 | 11,190 | 2,750 | 15,910 | 82,730 |

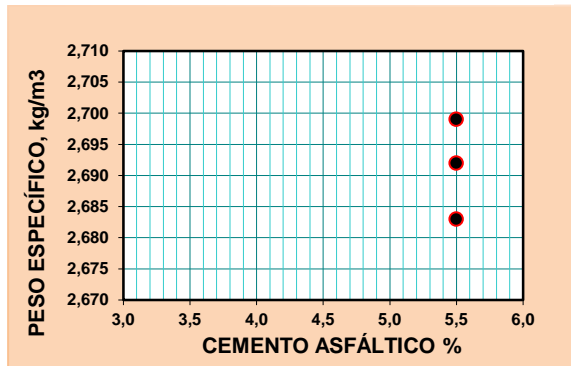
Tabla-3.53 Resultado Relaciones volumétricas

Fuente: Elaboración propia

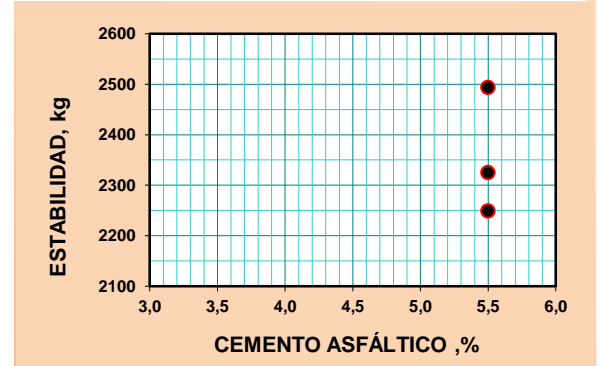
DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL

Granulometría: Material Natural

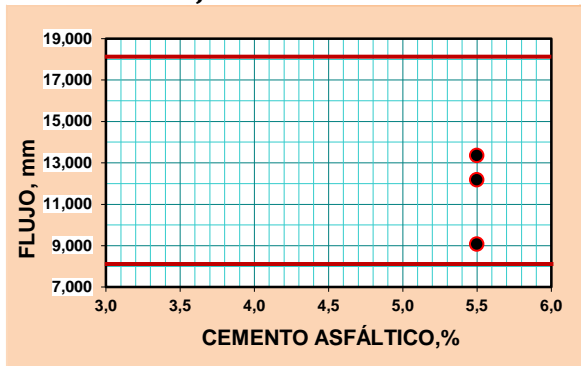
PESO ESPECIFICO VS C. ASFALTICO



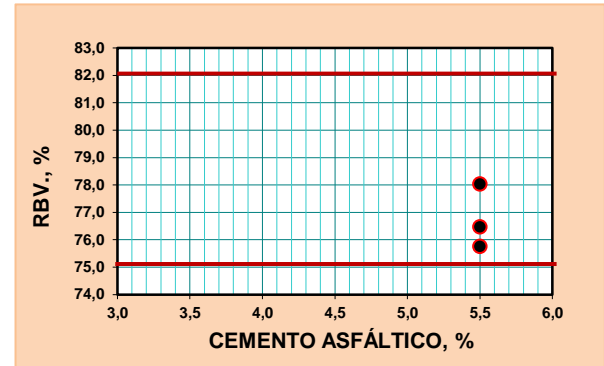
ESTABILIDAD VS C. ASFALTICO



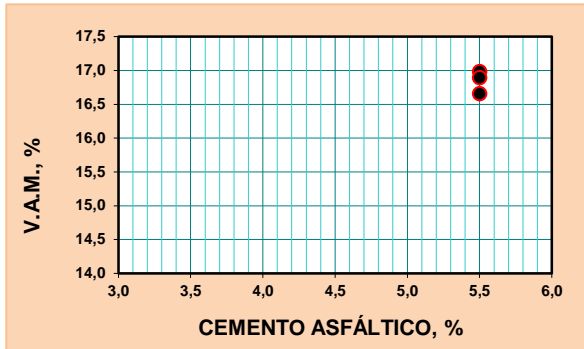
FLUJO VS C. ASFALTICO



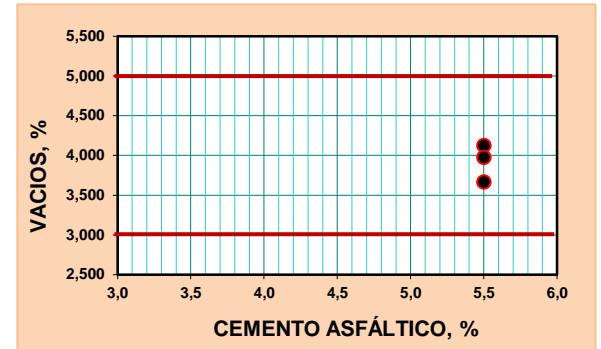
% RBV VS C. ASFALTICO



% V.A.M. VS C. ASFALTICO



% VACIOS VS C. ASFALTICO



Grafica 3.13 Relaciones volumetricas de granulometria convencional

Fuente: Elaboracion propia

| CARACTERÍSTICAS MARSALL (Mezcla con Arena Natural) | | | | | | |
|--|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| ASFALTO | PESO ESP | ESTABIL. | FLUJO | VACIOS | VAM | RBV |
| 5,5 | 2,683 | 2249 | 13,357 | 4,120 | 16,980 | 75,750 |
| 5,5 | 2,692 | 2325 | 12,175 | 3,970 | 16,890 | 76,470 |
| 5,5 | 2,699 | 2494 | 9,062 | 3,660 | 16,650 | 78,030 |

Tabla- 3.54- Resultado Relaciones volumétricas

Fuente: Elaboración propia

3.6.- ANALISIS DE RESULTADOS

El diseño Marshall se analiza para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia seis características de mezcla y la influencia que estas pueden tener en el comportamiento de la mezcla, que son:

- 1.- gravedad especifica seca compactada (Gr/cm³).
- 2.- porcentaje de vacíos de aire (V.v.)
- 3.- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M.)
- 4.- relación bitumen vacíos (R.B.V.)
- 5.- estabilidad (lb.)
- 6.- Fluencia (0,01 Pulg.)

El diseño Marshall se realizó con dos tipos de arenas, arena triturada y arena natural y cada una de ellas con diferentes graduaciones, con un porcentaje de cemento asfáltico de 5.5 % en base de la mezcla para las siguientes dosificaciones mencionadas.

1.- Arena triturada

Dosif. 1 arena triturada gruesa (Procedencia BANCO DE ARIDOS “VAFERCOM”)

Dosif. 2 arena tritura media (Procedencia BANCO DE ARIDOS “ERIKÁ”)

Dosif. 3 arena triturada fina (Procedencia BANCO DE ARIDOS “CHARAJA”)

2.- Arena Natural

Dosif. 1 arena natural gruesa (Procedencia rio Tolomosa - alturas de la comunidad de Tolomosa)

Dosif. 2 arena natural media (Procedencia rio Guadalquivir – alturas de la comunidad de Rancho Sud)

Dosif. 3 arena natural fina (Procedencia rio Camacho- alturas de la comunidad san José de charaja)

Se verifica los resultados obtenidos mediante el diseño Marshall – mezcla en caliente, con material bituminoso.

Posteriormente se evalúa las propiedades y los resultados de la mezcla asfáltica con asfalto convencional grado 85/100 realizado con arena triturada y arena natural con desiguales graduaciones mencionados anteriormente. Se realiza un análisis comparativo de resultados, que el mismo es importante para determinar la calidad, dureza y el comportamiento de la mezcla asfáltica con asfalto convencional.

Se realiza un análisis comparativo de resultados mediante unos diagramas, donde se observa claramente la variación de una mezcla a otra.

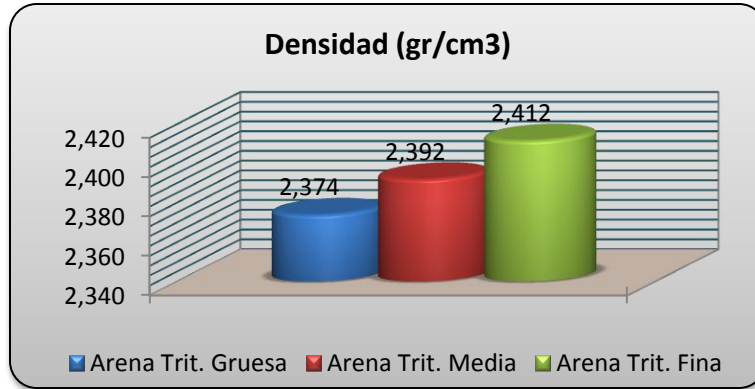
Además de disponer la información suficiente para el análisis de resultados sea confiable, se fabricaron 30 briquetas Marshall con el mismo porcentaje de asfalto convencional, que corresponde 15 con arena triturada y 15 con arena natural. Que corresponden 5 con arena triturada gruesa, 5 arena triturada media y 5 con arena triturada fina, de tal forma con la arena natural.

3.6.1. Comparación de propiedades volumétricas de mezcla asfáltica con asfalto convencional

Dosificación # 1 arena triturada gruesa, media y fina

El diseño Marshall nos lanza estos valores de los análisis que representan en el siguiente orden con el mismo porcentaje de cemento asfáltico realizado:

- 1.- gravedad específica seca compactada (Gr/cm³).
- 2.- porcentaje de vacíos de aire (V.v.).
- 3.- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M.).
- 4.- relación bitumenvacíos (R.B.V.)
- 5.- estabilidad (lb.)
- 6.- Fluencia (0,01 Pulg.)



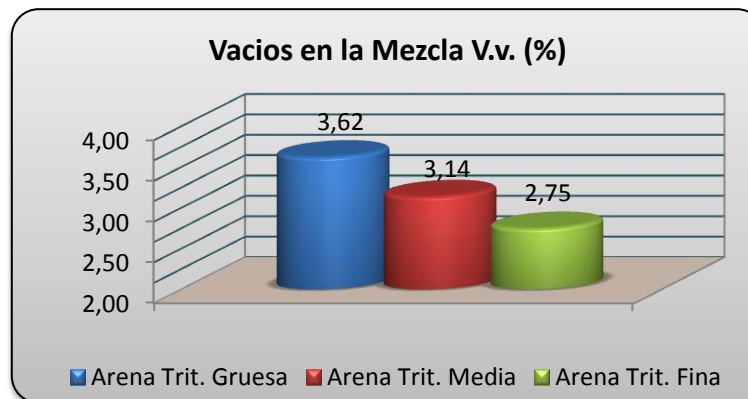
Grafica 3.14 – Comparación densidad (gr/cm³)

Fuente: Elaboración propia

Densidad.- se observa en el grafico 3.14, los resultados de acuerdo a la dosificación con arena triturada gruesa, media y fina.

La densidad está definida como su peso unitario, la densidad es una característica muy importante, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento para obtener un rendimiento duradero.

Las dosificaciones con arena triturada gruesa, media y fina los resultados de su densidad es en forma creciente, de tal manera la arena triturada gruesa es 2,374 gr/cm³, arena triturada media 2,392 gr/cm³ y con la arena triturada fina 2,412 gr/cm³. Los resultados de la propiedades de la mezcla son diferentes de acuerdo al tipo de graduaciones de la arena triturada, se verifica de acuerdo a los diseños si la densidad es baja tiene mayor porcentaje de vacíos en la mezcla, si la densidad es mayor los vacíos serán menores.



Grafica 3.15– Comparación de porcentaje de vacíos en mezcla

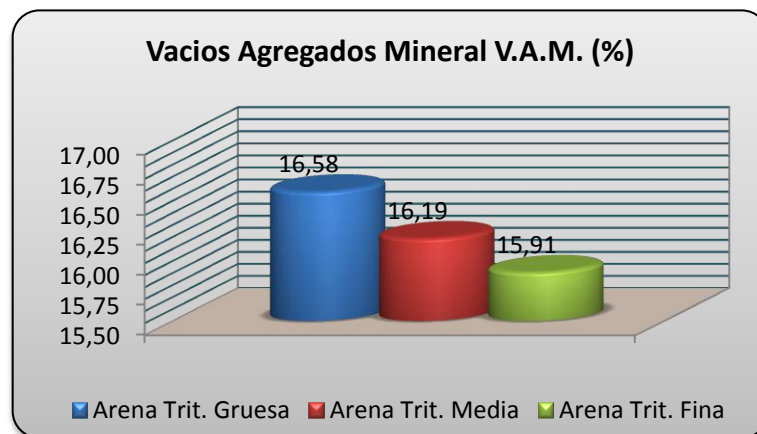
Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de vacíos en la mezcla.- los valores de vacíos de aire en la mezcla deben estar dentro del parámetro entre 3 a 5 % de vacíos, se puede apreciar que la dosificación con arena tritura gruesa es mayor el porcentaje de vacíos a la dosificación con arena triturada fina.

En el grafico 3.15 con arena triturada gruesa tiene un valor de 3.62%, arena triturada fina con 3.14% y arena triturada fina con 2.75 % de vacíos en la mezcla asfáltica, que es insuficiente la cual no cumple con la tolerancia requerida.

La razón de que esto sea menor el porcentaje de vacíos menor será la permeabilidad de la mezcla, un contenido alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla por los cuales puedan entrar el aire y el agua y causar deterioro. Por otro lado con contenido demasiado bajo de vacíos pueda producir exudación de asfalto.

La densidad y el contenido de vacíos este directamente relacionado. Entre más alta sea la densidad, menor porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa.

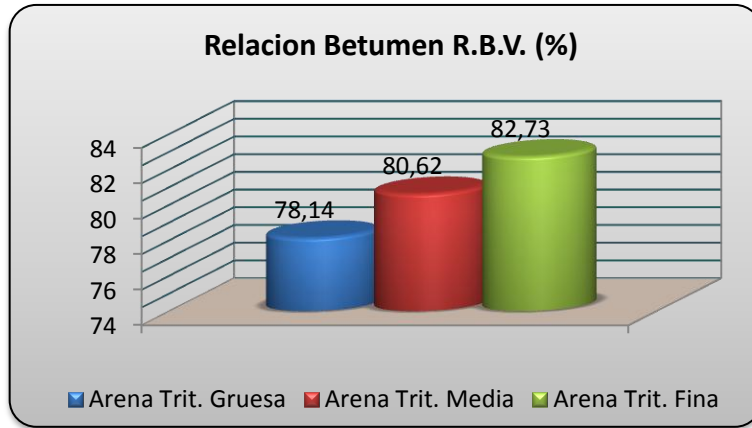


Grafica 3.16 - Comparación porcentaje de vacíos de agregados mineral V.A.M.

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de vacíos de agregados mineral.- De acuerdo a los requisitos del diseño Marshall nos pide un valor mayor al 15 por ciento. Se realiza la observación de los resultados en la gráfica 3.16 en forma descendente, la arena triturada gruesa con 16.58 %, arena triturada media 16.19 y arena triturada fina 15.91% de vacíos en el agregado mineral.

El VAM está definido como el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada. Incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto y se expresa como un porcentaje de volumen total de la mezcla.



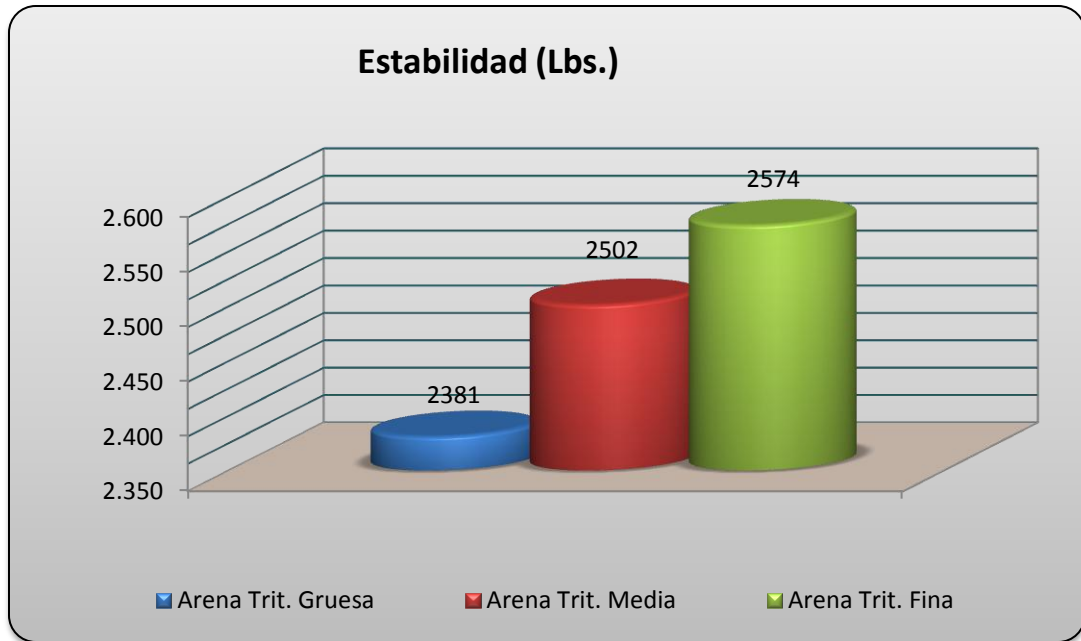
Grafica 3.17 - Comparación de porcentaje de vacíos llenos con asfalto

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto.- Estos valores son un reflejo de las demás propiedades de la mezcla, ya que al haber mayor densidad de una probeta asfáltica se reducen los vacíos intergranulares y por lo tanto para un contenido de asfalto dado se tiene un menor grado de saturación; en ese sentido lo requerido nos da una tolerancia de 75 a 82 por ciento.

Los resultados de la gráfica 3.17 nos muestran en forma creciente, con 78,14% arena triturada gruesa, 80,62% arena triturada media, estos estaría en el rango establecido y 82,73% arena triturada fina, que estaría fuera de especificaciones.

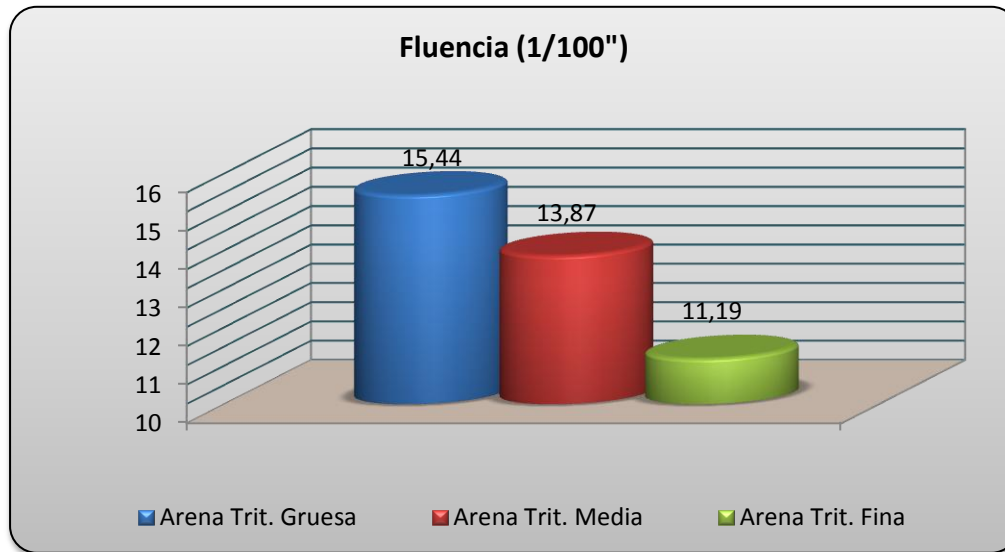
El RBV son el porcentaje de vacíos intergranulares entre partículas de agregado (VAM) que se encuentran llenos de asfalto. El VAM abarca asfalto y aire y por lo tanto, el RBV se calcula al restar los vacíos de aire del VAM.



Grafica3.18 – Comparación de estabilidad en libras
 Fuente: Elaboración propia

La estabilidad: La medición de estabilidad y flujo Marshall tiene la función de evaluar la resistencia a la deformación que presenta la mezcla asfáltica, la resistencia se debe principalmente a las propiedades del agregado mineral y el cemento asfáltico. El valor de la estabilidad Marshall es una medida de carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente

En el grafico 3.18 se observa con la arena triturada gruesa con una densidad menor nos da menor estabilidad de 2381 lb. Arena triturada media con 2502 lb y con arena triturada fina con densidad mayor, mayor estabilidad. Las especificaciones nos piden un valor mayor a 1500 lb. Esto debe ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el transito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones del tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto menos durable. (*Diseño de mezclas Caliente Serie de manuales N° 22. AsphaltIstitute*).



Grafica 3.19 – Comparación de flujo

Fuente: Elaboración propia

El flujo: propiamente es medido en centésimas de pulgada, lo cual representa la deformación de la briqueta, la deformación indica por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. En la gráfica 3.19 se observa deformación descendente de 11,19 a 15,44 centésimas de pulgadas

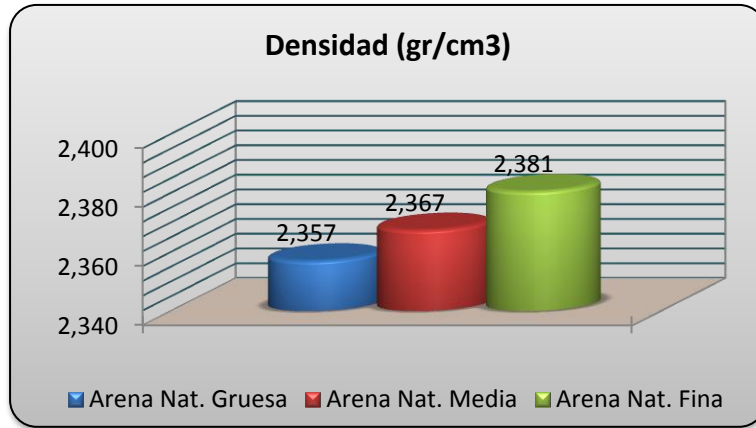
Con la arena triturada gruesa el resultado de 15,44 centésimas de pulgadas, la arena triturada media 13,87 y arena triturada fina con 11,19 centésimas de pulgadas.

Por el contrario valores de flujo bajos y de estabilidad muy alto producen pavimentos frágiles y rígidos.

Dosificación # 2 arena Natural gruesa, media y fina

De igual manera el diseño nos lanza los valores de las propiedades de la dosificación con arena natural y realizada con el mismo porcentaje de asfalto.

- 1.- gravedad específica seca compactada (Gr/cm³).
- 2.- porcentaje de vacíos de aire (V.v.).
- 3.- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M.).
- 4.- relación bitumen vacíos (R.B.V.)
- 5.- estabilidad (lb.)
- 6.- Fluencia (0,01 Pulg.)

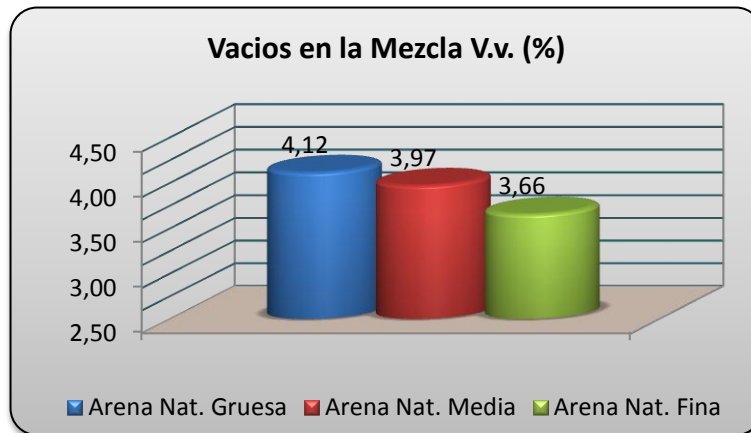


Grafica3.20 – Comparación densidad (gr/cm3)

Fuente: Elaboración propia

Densidad.- Se observa en el grafico 3.20, los resultados de acuerdo a la dosificación con arena natural gruesa, media y fina.

Las dosificaciones con arena natural gruesa, media y fina los resultados de su densidad es en forma creciente, de tal manera la arena natural gruesa es 2,357 gr/cm³, arena natural media 2,367 gr/cm³ y con la arena natural fina 2,381 gr/cm³.

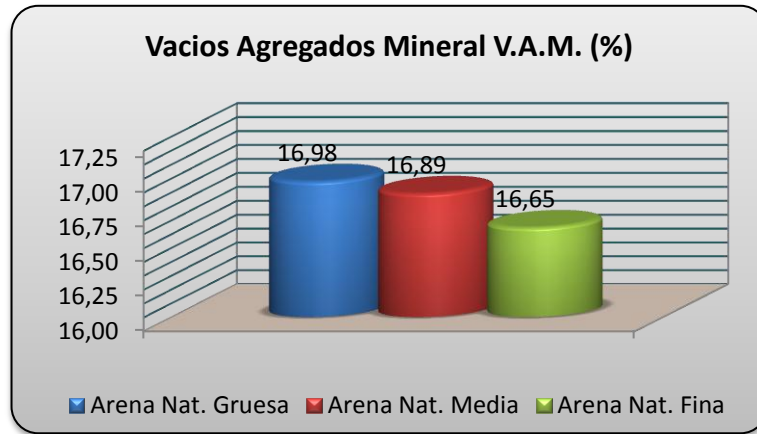


Grafica 3.21 – Comparación de porcentaje de vacíos en mezcla

Fuente: Elaboración propia

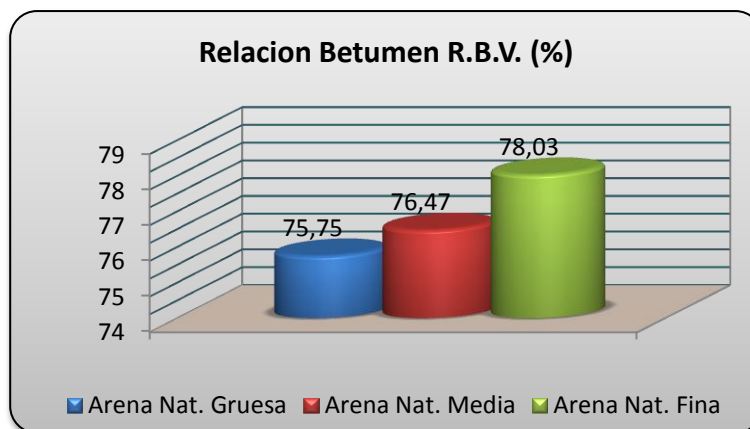
Porcentaje de vacíos en la mezcla.- los valores de vacíos de aire en la mezcla deben estar dentro del parámetro entre 3 a 5 % de vacíos, En el grafico 3.21 con arena

natural gruesa tiene un valor de 4,12%, arena natural fina 3,97% y arena natural fina con 3,66 % de vacíos en la mezcla asfáltica, por lo tanto cumple con lo requerido



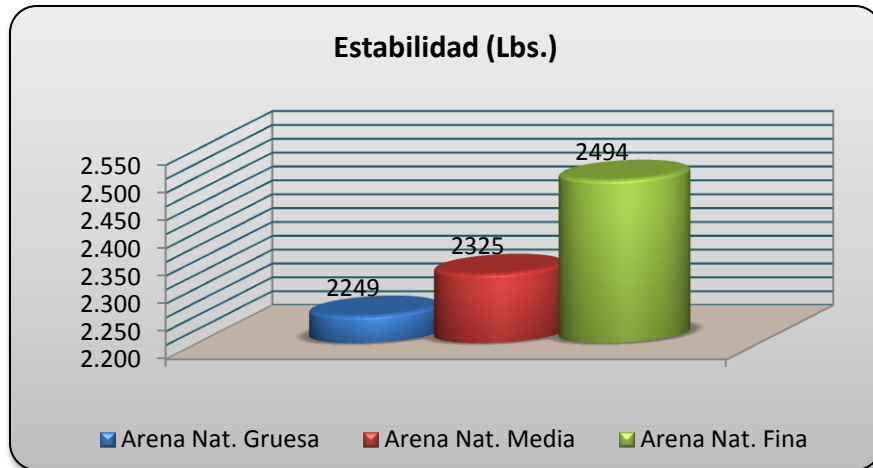
Grafica 3.22- Comparación porcentaje de vacíos de agregados mineral V.A.M.
Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de vacíos de agregados mineral.- de acuerdo a las especificaciones del diseño Marshall nos pide un valor mayor al 15 por ciento. Se realiza la observación de los resultados en la gráfica 3.22 en forma descendente, la arena natural gruesa con 16,98 %, arena natural media 16,89 y arena natural fina 16,65% de vacíos en el agregado mineral.



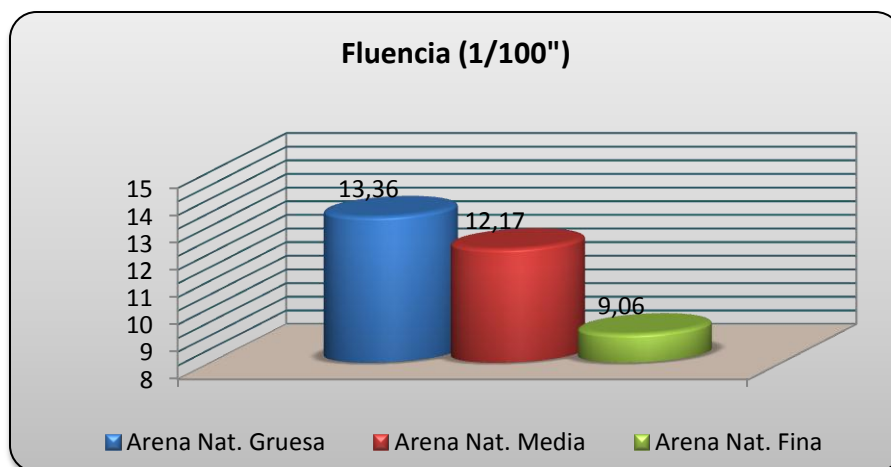
Grafica3.23- Comparación de porcentaje de vacíos llenos con asfalto
Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto.- Los resultados de la gráfica 3.23 nos muestran en forma creciente, con 75,75% arena natural gruesa, 76,47% arena natural media, y 78,03% arena natural fina, estos estarían en el rango establecido de 75 a 82 por ciento.



Grafica3.24 – Comparación de estabilidad en libras
Fuente: Elaboración propia

La estabilidad: En el grafico 3.24 se observa con la arena natural gruesa con una densidad menor nos da menor estabilidad de 2249 lb. Arena natural media con 2325 lb y con arena natural fina gruesa con 2494 lb.



Grafica 3.25– Comparación de flujo
Fuente: Elaboración propia

Fluencia: Propiamente es medido en centésimas de pulgada, lo cual representa la deformación de la briqueta, la deformación indica por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. En la gráfica 3.25 se observa deformación descendente.

Con la arena natural gruesa el resultado de 13,36 centésimas de pulgadas, la arena natural media 12,17 y arena natural fina con 9,06 centésimas de pulgadas.

1. RESUMEN

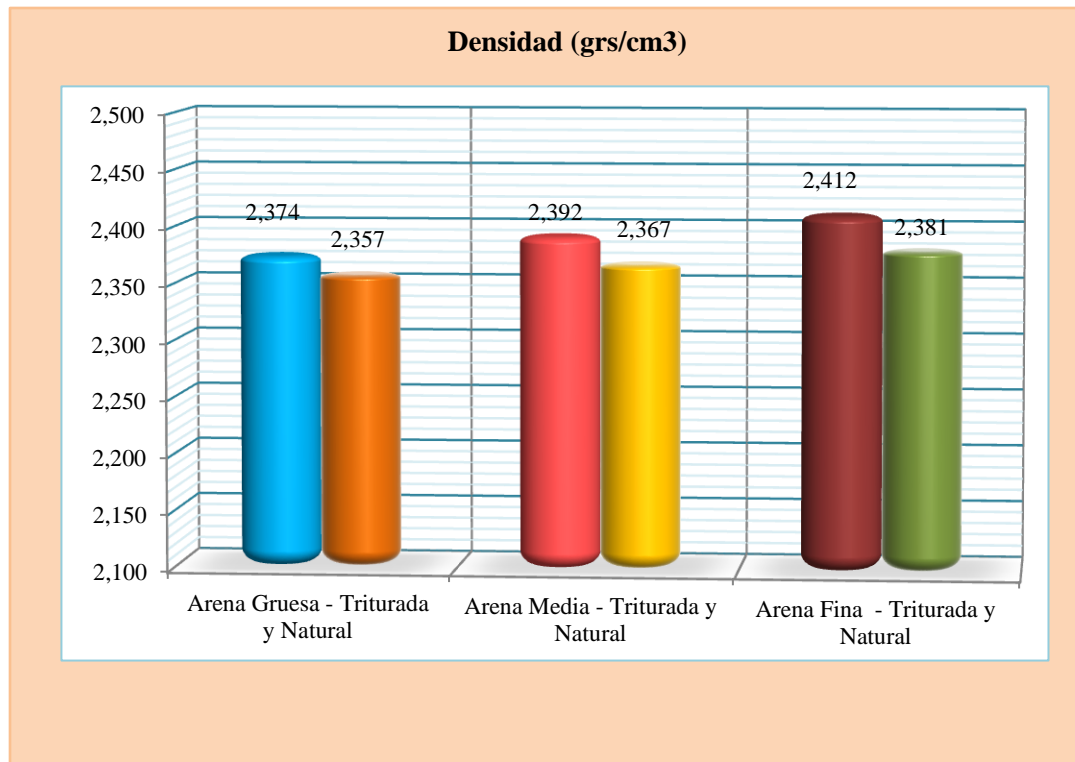
| Descripción | Arena Triturada | | | Arena Natural | | | Especificaciones |
|-----------------------------|-----------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-----------------------|
| | Gruesa | Media | Fina | Gruesa | Media | Fina | |
| Densidad Gr/cm ³ | 2,374 | 2,392 | 2,412 | 2,357 | 2,367 | 2,381 | |
| % V.T.M. | 3,62 | 3,14 | 2,75 | 4,12 | 3,97 | 3,66 | 3-5 % |
| % V.A.M. | 16,58 | 16,19 | 15,91 | 16,98 | 16,89 | 16,65 | > 15 % |
| % R.B.V. | 78,14 | 80,62 | 82,73 | 75,75 | 76,47 | 78,03 | 75-82 % |
| Estabilidad [Lb] | 2381 | 2502 | 2574 | 2249 | 2325 | 2494 | >1500 [Lb] |
| Flujo [0,01 plg] | 15,44 | 13,87 | 11,19 | 13,36 | 12,17 | 9,06 | 8-18 [0,01plg] |
| Contenido óptimo C.A. | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | |

Tabla- 3.55 – Resumen de las propiedades de diseño mezclas asfáltica

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las especificaciones de mezclas compactadas por el procedimiento Marshall, se constata con la arena triturada gruesa y media cumple con las especificaciones, de tal manera con la arena natural gruesa y media, así también con la arena natural fina pero no garantizando por su baja fluencia. Del otro lado solamente cumpliendo en la curva granulométrica con las arena triturada media y arena natural media.

3.6.2. Comparación de propiedades de mezcla asfáltica con arena triturada y arena natural.



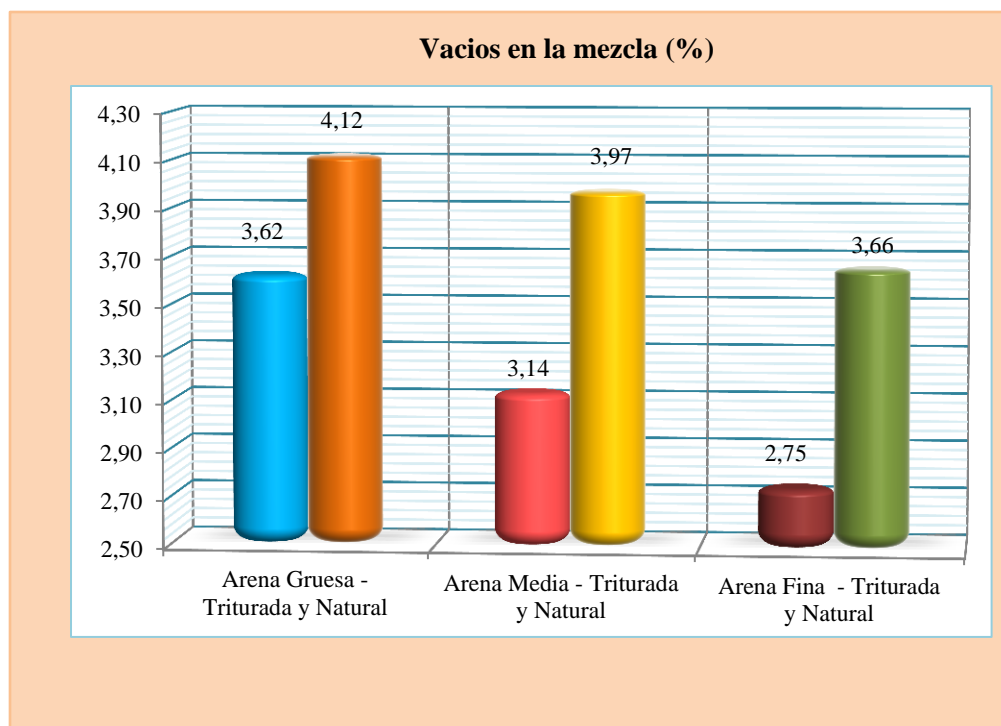
Grafica3.26 – Gravedades específicas en mezclas asfálticas

Fuente: Elaboración propia

En el grafico 3.26 se puede ver en la mezcla asfáltica de acuerdo a su graduación presenta en la arena triturada gruesa, media y fina tienen una densidad mayor, a los tres tipos de arenas naturales.

Se verifica la densidad compactada con arena triturada gruesa con 2,374, arena natural gruesa 2,357, arena triturada media 2,392, arena natural media 2,367, arena triturada fina 2,412 y arena natural fina con 2,381 gr/cm³.

De acuerdo a los resultados tienen una excelente compactación adecuada lo cual nos permite tener una excelente homogeneidad en la graduación de la mezcla asfáltica.



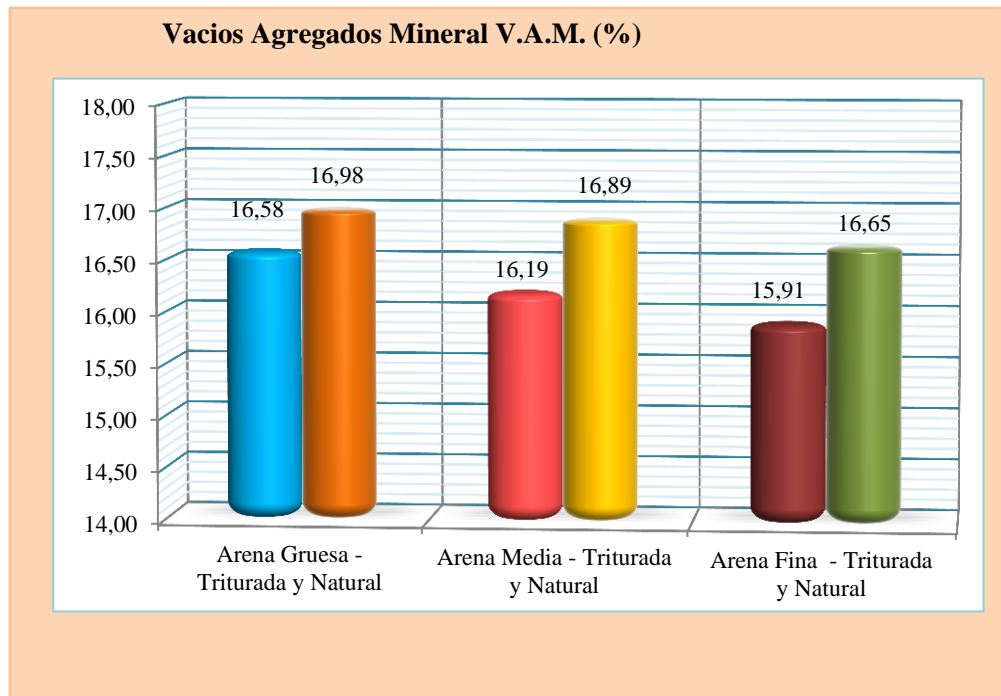
Grafica 3.27 – Porcentajes de vacíos de aire en las mezclas asfálticas
Fuente: Elaboración propia

El diseño de mezcla asfáltica realizada con arena triturada y arena natural, con diferentes graduaciones de arena se tiene resultados desiguales de acuerdo a su graduación con la arena triturada y arena natural.

El porcentaje de vacíos es mayor en la mezcla asfáltica cuando utilizamos arena natural más gruesa o mezclas con gruesas, sucediendo similar la situación con la mezcla con arena chancada.

La graduación con arena triturada gruesa se tiene menor porcentaje de un 3,62 % y con arena natural gruesa un 4,12% de vacíos de aire en la mezcla asfáltica, La graduación con arena triturada media se tiene menor porcentaje de un 3,14 % y con arena natural media un 3,97% de vacíos de aire en la mezcla asfáltica y El diseño con arena triturada fina se obtiene un porcentaje de un 2,75 % y con arena natural fina un 3,66% de vacíos de aire en la mezcla asfáltica.

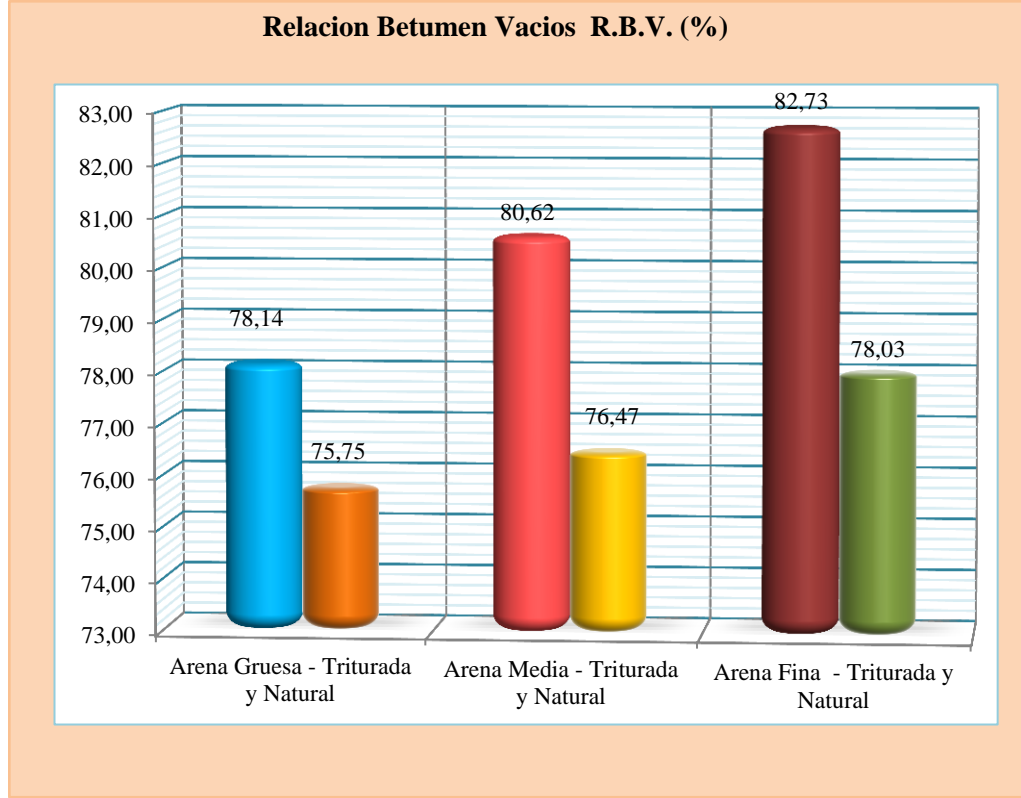
El porcentaje de vacíos son variable de acuerdo al tipo de graduaciones de la arena triturada, se verifica de acuerdo a los diseños si la densidad es baja tiene mayor porcentaje de vacíos en la mezcla, si la densidad es mayor los vacíos serán menores.



Grafica3.28 –Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral en mezclas asfálticas
Fuente: Elaboración propia

El valor mínimo de % V.A.M. especificado es mayor a 15% para mezclas asfálticas, en el grafico 3.28 muestra en forma escalonada de acuerdo a la dosificación con arena triturada y natural, con su respectiva graduación.

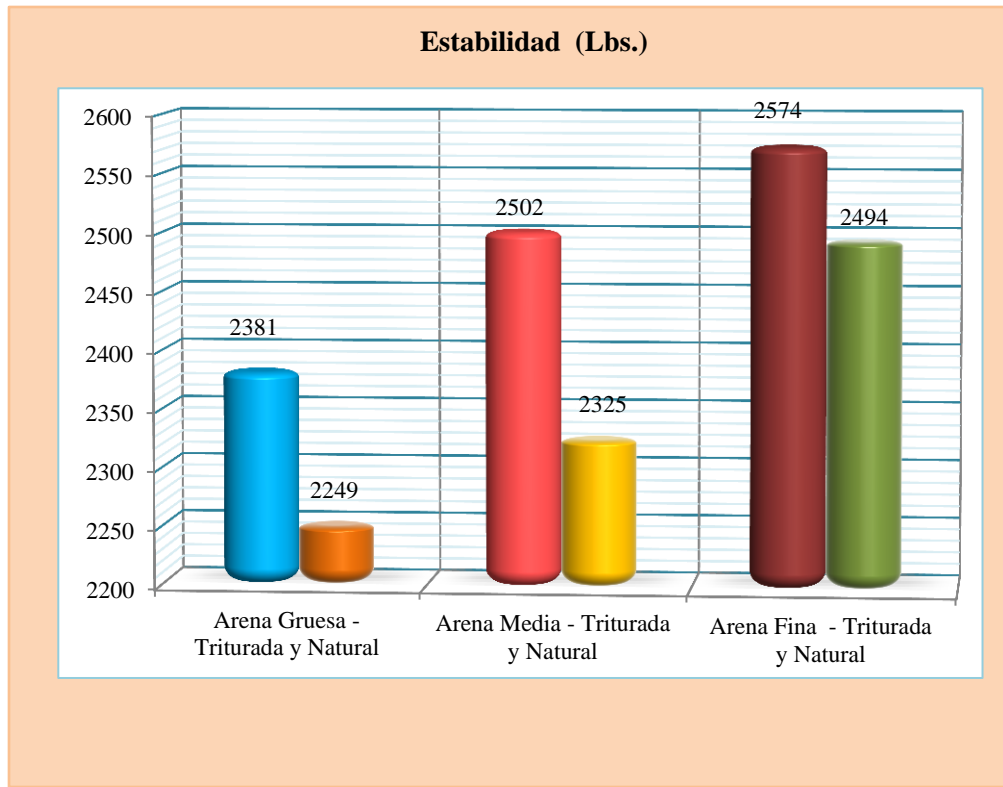
Con la arena triturada gruesa es menor porcentaje a la arena natural gruesa, de tal manera para la media y fina. Nos muestra resultados con arena triturada gruesa con 16,58, arena natural gruesa 16,98% , arena triturada media 16.19%, arena natural media 16,89, arena triturada fina 15,91% y arena natural fina con 16,65%.



Grafica3.29- Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto en mezclas asfálticas

Fuente: Elaboración propia

La especificación de porcentaje de vacíos llenos de asfalto es 75 a 82 %, se puede observar en la gráfica 3.29, la arena chancada tiene mayor relación de vacíos bitumen, similar situación sucede con la mezcla asfáltica con arena natural pero en relación de vacíos más baja. De tal manera la dosificación con arena triturada gruesa está al límite inferior de las especificaciones, con la arena triturada fina no cumple con la especificación requerida, estaría por encima del límite superior.

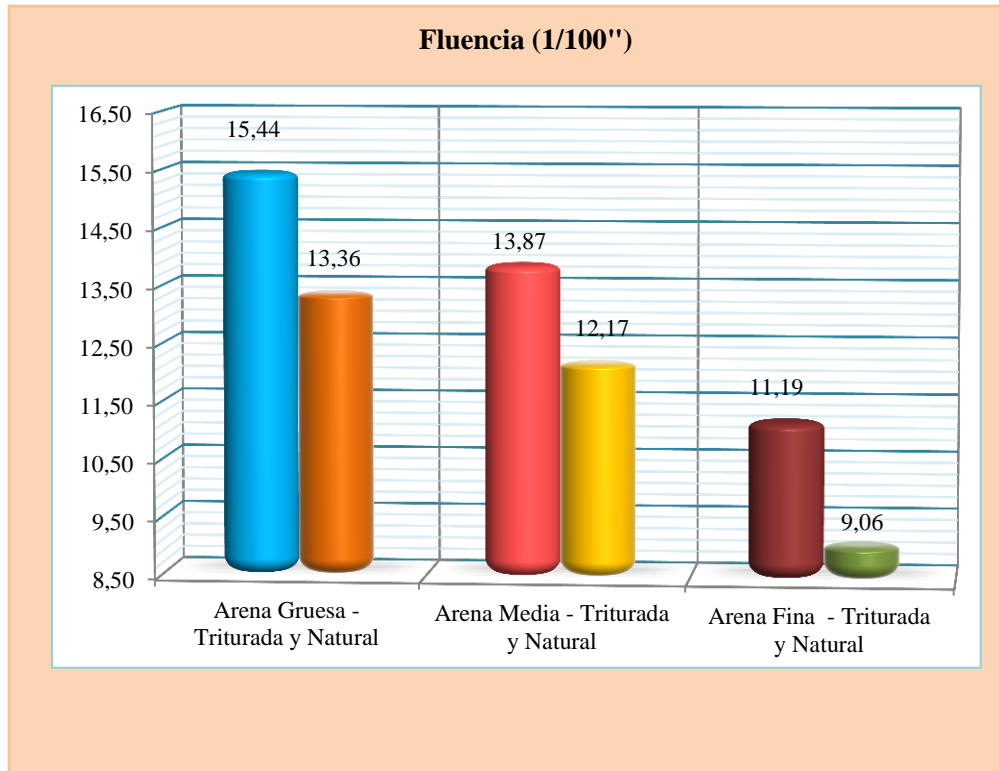


Grafica 3.30 - Estabilidades en mezclas asfálticas

Fuente: Elaboración propia

La grafica 3.30 de estabilidad de mezcla asfáltica, se verifica con arena triturada es mayor la estabilidad a la de arena natural, de acuerdo a su graduación de las mismas. La especificación de diseño Marshall nos da un valor mínimo de 1500 lb. Esto nos muestra con las arenas naturales estabilidades bajas a comparación con la misma graduación con la arena chancada.

Los resultados con arena chancada gruesa es de 2381 lb, arena natural gruesa 2249, arena triturada media 2502, arena natural media 2325, arena triturada fina 2574 y arena natural fina 2494 lb. , las mezclas con estabilidad baja no garantizan una buena resistencia de la carpeta asfáltica.



Grafica 3.31 - Flujos en mezclas asfálticas

Fuente: Elaboración propia

Es importante notar que los requisitos de fluencia tienen rango de 8 a 18 centésimas de pulgada, en el grafico 3.3 se observa que cumplen para todas dosificaciones realizadas.

La fluencia con arena triturada gruesa con 15,44, arena natural gruesa 13,36, arena triturada media 13,87, arena natural media 12,17, arena triturada fina 11,19 y arena natural fina 9,06 (1/100") pulgadas.

Con la arena triturada se verifica una mejor fluencia en cuanto a su graduación, con la arena natural también con buen rango, en si con la arena natural fina muy bajo, esto con flexibilidad en la carpeta asfalta muy bajo, no garantizando una buena resistencia.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El desarrollo del estudio fue verificar el comportamiento de la mezcla asfáltica con dos tipos de arenas, siendo estas arena triturada de procedencia, bancos de materiales VAFERCON, ERIKA Y CHARAJA, arena natural de procedencia de los ríos TOLOMOSA, GUADALQUIVIR Y CAMACHO y de las mismas arenas con diferentes graduaciones, arena gruesa, arena media y arena fina.

Se verifica de acuerdo a las variedades de arena que se utilizó en el diseño Marshall, para su verificación de sus propiedades de la mezcla asfáltica, tiene una influencia fundamental dado que las mezclas asfálticas varían de acuerdo al tipo de graduación de los agregados finos y procedencia de los materiales pétreos.

- Con arena triturada se consiguen resultados alcanzando valores de $2,374 \text{ gr/cm}^3$ arena gruesa triturada, $2,392 \text{ gr/cm}^3$ arena media triturada y $2,412 \text{ gr/cm}^3$ arena triturada fina. Con las arenas naturales de igual manera con graduaciones óptimas se tiene los resultados en cuanto a todas las propiedades de la mezcla y nos lanza valores de $2,357 \text{ gr/cm}^3$ gruesa $2,367 \text{ gr/cm}^3$ media y fina con $2,381 \text{ gr/cm}^3$. Por lo tanto graduación fina nos dan valores altos, en cuanto mayor densidad menor porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica, y viceversa.
- En el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica (V.T.M.), cuando se tiene graduaciones gruesas nos dan valores altos, en la arena triturada y arena natural, mientras sea mejor su graduación se tiene mejores resultados y cumpliendo en todas las especificaciones requeridas, con la arena triturada se obtiene valores de 3,62 % arena gruesa, 3,14 % arena media, 2,75 % arena fina y con arena natural de 4,12 % arena gruesa, 3,97 % arena media y 3,66% arena fina.
- En el porcentaje de vacíos de agregado mineral (V.A.M.), se tiene resultados con la arena triturada gruesa, media a fina con 16,58 % a 15,91 % y arena natural con

resultados de 16,98 % a 16,65 %. Mientras la graduación es más fina, los valores son más bajos.

- Sobre el porcentaje de vacíos llenos con asfalto (R.V.B), se obtiene con la arena triturada y arena natural, mientras tenga una graduación apropiada se tiene resultados que cumple en las propiedades de la mezcla asfáltica, esto nos dan valores en la arena triturada de 78,14 % a 82,73 % y en la arena natural con 75,75 % a 78,03 %, concluyendo que cuanto la graduación sea más fina se logra mayor porcentaje de R.B.V.
- En cuanto a la estabilidad la deformación de la mezcla asfáltica los resultados muestran que a graduaciones más gruesa, estabilidad más baja y viceversa, alcanzando valores con arena triturada de 2381 Lb. a 2574 Lb. Y con la arena natural de 2249 Lb. a 2494 Lb.
- En cuanto a la fluencia o deformación de las mezclas asfálticas, la influencia de las arena utilizadas es que con arenas trituradas se consigue menores deformaciones, alcanzando valores del orden de 15,44 a 11,19 (0,01 plg), de tal manera con la arena natural con valores de 13,36 a 9,06 (0,01 plg).
- En la arena triturada con la graduación de la arena media que estaría dentro la curva granulométrica presenta resultados óptimos que están dentro de lo requerido. Densidad específica 2,392 gr/cm³, V.v. 3,14 %, V.A.M. 16,19 %, R.B.V. 80,62 %, Estabilidad 2502 lb. Y fluencia con 13,87 (0,01 plg).
- Arena natural con la graduación media, de igual manera cumple en la curva granulométrica y en las especificaciones del diseño Marshall presentando resultados de Densidad específica 2,367 gr/cm³, V.v. 3,97 %, V.A.M. 16,89 %, R.B.V. 76,47 %, Estabilidad 2325 lb. Y fluencia con 12,17 (0,01 plg).
- Analizando los dos tipos de arenas en las propiedades de la mezcla asfáltica se concluye que la que establece mejores resultados son las arenas medias.
- Se concluye que las mezclas asfálticas es bastante complejo, porque depende de varios factores, como ser de las características de asfalto, características de los materiales pétreos e incluso de la región donde se realice el proyecto y los

cambios climáticos, donde el tipo y característica de la arena tiene singular importancia como muestran los resultados de la investigación.

- Uno de los objetivos más importantes que he logrado ha sido justamente la de haber aprendido a manejar los equipos de laboratorio y así para poder desarrollar futuras prácticas. También hago conocer que siempre hay errores humanos de los ensayos realizados.

4.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Para tener un resultado adecuado en sus propiedades de una mezcla asfáltica se debe cumplir con todas las especificaciones requeridas.
- Para conocer sus propiedades de la mezcla asfáltica de acuerdo a nuestros diseños realizados, se recomienda verificar su porcentaje óptimo de cemento asfáltico, para obtener sus resultados reales de la mezcla asfáltica.
- Se recomienda utilizar las granulometrías, que estén en el medio de faja de la curva de especificaciones, para así obtener resultados óptimos en las propiedades de calidad de la mezcla.
- En laboratorio se recomienda realizar las muestras Marshall (briquetas) con temperaturas exactas para la compactación ya que incluye en las condiciones de las propiedades de la mezcla.