

Capítulo I

Introducción

Capítulo I

Introducción

1.1. Introducción

Cada vez se implementan nuevas ideas que permiten desarrollar mejoras en los pavimentos, mediante una mejor mezcla asfáltica, es por esto que surge el estudio de investigación sobre el análisis de la fibra de vidrio como componente en una mezcla asfáltica en caliente convencional para el mantenimiento de una carretera, como una forma de mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica, y dar solución a ciertos inconvenientes que actualmente se presentan para el mantenimiento de carreteras.

Se utiliza la fibra de vidrio en diferentes procesos como en la reparación de la pintura en automóviles, en la creación de moldes para maniqués, utilizados en la comercialización de prendas de vestir, en la creación de piezas para el área de la medicina, a partir de la fibra de vidrio como componente y otros usos más; pero no se encontraron estudios que confirmen que se la utilizó en una mezcla asfáltica como componente.

La mezcla asfáltica con la fibra de vidrio como componente es una técnica nueva que pretende mejorar la propiedad físico-mecánica y durabilidad de las carreteras.

En los últimos años se hicieron varias investigaciones con mezclas asfálticas tratando de mejorar sus propiedades, utilizando varios materiales como componentes en la mezcla, para mejorar sus propiedades, pero no se tiene información de la fibra de vidrio como componente en una mezcla asfáltica. Tradicionalmente se viene implementando en las diferentes regiones la mezcla asfáltica convencional, la cual está acogida a unos diseños preestablecidos por los ingenieros a cargo de estas obras de ingeniería, sin embargo, al transcurrir los años se ha evidenciado el desgaste de este tipo de pavimento debido a diferentes circunstancias, dentro de las cuales se puede identificar el flujo vehicular, factores climáticos, materiales utilizados en su elaboración, un inadecuado mantenimiento preventivo y correctivo sobre el pavimento.

Es por eso, que se ha evidenciado la necesidad de implementar nuevas técnicas de mejoramiento en el pavimento en la modificación de mezclas asfálticas, mediante nuevos

materiales que aporten a dar mayor resistencia, durabilidad, reducción de costos y tiempo de mantenimiento.

Se han realizado innovaciones en materiales que han permitido mejorar la mezcla asfáltica en caliente como lo manifiestan los siguientes autores:

María Rene Mendivil Velásquez, U.A.J.M.S, 2016, “**Análisis técnico y económico de la adición en diferentes porcentajes de residuo de caucho en mezclas asfálticas en pavimento flexible**” se llega a la conclusión de que utilizar residuos de caucho en mezclas asfálticas es viable porque aporta mayores propiedades de estabilidad y fluencia en la mezcla.

Martínez Silvia Noemí, U.A.J.M.S, 2018, “**Análisis experimental sobre el diseño de pavimentos reforzado con geo sintéticos**”, finalmente en función a todos los ensayos realizados y resultados analizados se verifica la hipótesis dando viable al uso de geo sintéticos como material para reforzar y evitar agrietamientos en la capa de rodadura a futuro.

María René Ticoná Gareca, U.A.J.M.S, 2018, “**Comparación técnica de una mezcla asfáltica con propiedades de auto-reparación**”, De acuerdo a la hipótesis se concluye que si le proporcionamos a la mezcla convencional una condición auto-reparante agregando fibras metálicas, sus 146 propiedades son diferentes y permiten la disminución de la figuración, logrando mayor calidad y estabilidad máxima de 1702. 74 Kg y alcanzando una resistencia máxima de 20.66 Kg/cm².

María Elisabeth Velásquez, U.A.J.M.S, 2019, “**Mejoramiento de la eficiencia del drenaje en mezclas asfálticas mediante la adición de plastómero (PVC)**”, Al realizar el análisis y comparación de la mezcla de diseño y la modificada con PVC, se verificó que existió una mejora y aumento en la porosidad de la mezcla drenante, incrementándose considerablemente, debido a que el porcentaje de vacíos y poros creció, comparando los resultados obtenidos.

Considerando los estudios anteriores, se inició una investigación como un ejercicio académico, en donde se tendrá en cuenta una modificación asfáltica mediante fibras de vidrio, la cual será realizada en laboratorios para analizar las propiedades físico –

mecánicas de la mezcla asfáltica y así evaluar la calidad constructiva de obras de infraestructura vial aplicada a vías.

Primero se hará la caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica, agregado y cemento asfáltico, se realizará una mezcla asfáltica en caliente convencional encontrando el porcentaje de cemento asfáltico más óptimo, posteriormente se procederá a añadir porcentajes de fibra de vidrio a la mezcla asfáltica para luego hacer las diferentes pruebas a una mezcla asfáltica convencional en caliente y con fibra de vidrio, para después analizar y ver si mejora las propiedades de la mezcla asfáltica con la fibra de vidrio.

Con este análisis se pretende determinar el comportamiento de la resistencia del pavimento flexible con la fibra de vidrio como componente en una mezcla asfáltica para reducir deterioros, fisuras desgastes, etc. Se pretende satisfacer la estabilidad Marshall para el mantenimiento de carreteras con algunas modificaciones al reemplazar en porcentaje en total de la mezcla asfáltica para mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica.

1.2. Justificación.

Se hicieron diferentes investigaciones con el uso de la fibra de vidrio en diferentes campos, medicina, industria automotriz y en el campo de la ingeniería civil en carreteras. En un artículo investigado resaltan el uso de la fibra de vidrio en forma de grilla de fibra de vidrio es una malla que tiene como componente fibra de vidrio. Esta malla la utilizan en Francia por más de dos décadas para el refuerzo de carreteras donde al emplearla llegan a las siguientes conclusiones.

- Los terrenos reforzados con fibra de vidrio, a igualdad de espesor de aglomerado, evitan el aumento de estas fisuras y previenen la entrada de agua y otros agentes dañinos en la estructura de la explanada.
- El refuerzo de un terreno con fibra de vidrio aumenta su vida útil evitando la transmisión de fisuras desde la superficie del terreno hacia el interior de la estructura y el núcleo de la explanada.

Figura 1.1: Método de empleo de la grilla de fibra de vidrio



Fuente: <https://silo.tips>

Artículo de referencia: <https://silo.tips/download/refuerzo-de-carreteras-con-grilla-de-fibra-de-vidrio>

Teniendo este artículo como referencia por qué no hacer un análisis de la fibra de vidrio en una mezcla asfáltica para este medio con materiales locales, con el tipo de tráfico, clima del país y satisfacer una necesidad que se tiene de hacer una mejor mezcla más resistente, barata y amigable con el medio ambiente.

Realizando el análisis de la fibra como un componente en una mezcla asfáltica en caliente y mejorando sus propiedades. Mejorando su vida útil el gasto por mantenimiento sería menos por prolongar su funcionamiento y evitar gastos por mantenimientos. Empleando esos recursos en mejorar las condiciones de vida en otros campos como en la salud, agricultura y tecnología.

La fibra de vidrio es un material barato en comparación con los materiales que componen una mezcla asfáltica. Este material ayuda a que una mezcla asfáltica gane más estabilidad y por lo tanto una carretera más resistente y a la larga más económica por el menor costo de mantenimiento.

En la actualidad el medio ambiente sufre por la gran contaminación de los ríos, aire y en sí del planeta. La fibra de vidrio es un material hecho también de vidrios reciclables, botellas ya utilizadas. Es un material 100% reciclable y por ser un material inerte, no

contamina el medio ambiente. Incorporando este material a una mezcla asfáltica ayudará mucho a nuestro medio ambiente, reduciendo así la contaminación.

1.3 Planteamiento del problema.

1.3.1 Situación problémica.

En el departamento de Tarija existe una gran necesidad de mejorar las mezclas asfálticas para que sean más resistentes, económicas y amigables con el medio ambiente.

Los pavimentos flexibles son aquellos que resisten la carga de los vehículos transfiriendo y distribuyendo las cargas hacia las capas estructurales inferiores. Las capas asfálticas se deforman debido a la acción del tránsito; pero recuperan mayormente su forma original ante el cese de la sollicitación.

El desgaste temprano de las carpetas asfálticas que generan fallas de piel de cocodrilo, baches, fisuras longitudinales y transversales, etc.

1.3.2 Problema.

¿Se puede analizar las propiedades de una mezcla asfáltica en caliente convencional incorporando fibra de vidrio como un componente adicional, para mejorar las carpetas asfálticas?

1.3.3 Relevancia y factibilidad del problema.

En nuestro medio existe un gran problema con relación a las mezclas asfálticas en caliente convencional, procurar que estas sean resistentes a factores climático, más duraderas con el pasar del tiempo y más barata. Es ahí donde surge la necesidad de analizar la fibra de vidrio como un componente en una mezcla asfáltica.

El mundo de la fibra de vidrio nos ofrece un sin número de posibilidades en cuanto a fabricación. La fibra de vidrio es un material amigable con el medio ambiente por ser un material inerte está hecha de reciclados de vidrio y es 100% reciclable. Mucho se escuchó decir sobre este material; pero realmente no sabemos de dónde sale, como se trabaja y que tan útil es para todos. Hoy en día sin darnos cuenta a nuestro alrededor convivimos y utilizamos muchos productos hechos con este material, como: los carros, tanques, tuberías, toboganes, jacuzzis, pisos, tejas y una gran variedad de productos.

Este material se encuentra en el mercado a disposición, por lo cual no es un problema poder conseguirlo, a buen precio y emplearlo en diferentes cosas.

El presente trabajo de investigación pretende ayudar a mejorar las propiedades de una mezcla asfáltica en caliente convencional, para usarla en el mantenimiento de las carreteras.

Para la investigación se cuenta con todo lo necesario como agregados de la región y cemento asfáltico convencional y fibra de vidrio que se comercializa en el mercado.

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

Analizar la fibra de vidrio como un componente adicional en una mezcla asfáltica en caliente, a través de sus propiedades físico-mecánicas aplicando el método Marshall para el mantenimiento de carreteras.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Realizar los ensayos de la caracterización de los agregados y del cemento asfáltico.
- Realizar la dosificación de las mezclas asfálticas convencional y con porcentaje de fibra de vidrio según diseño granulométrico.
- Elaborar briquetas con las dosificaciones de los dos tipos de mezclas asfálticas.
- Analizar y comparar el desempeño de las mezclas asfálticas con la fibra de vidrio como componente versus una mezcla asfáltica convencional.
- Determinar la incidencia en el costo de una mezcla asfáltica con la fibra de vidrio como componente versus una mezcla asfáltica convencional.
- Establecer conclusiones y recomendaciones según resultados obtenidos con la presente investigación.

1.5. Hipótesis.

La fibra de vidrio dentro de una mezcla asfáltica en caliente mejora las propiedades y sirve para el mantenimiento de carpetas asfálticas.

1.6. Definición de la variable independientes y dependientes.

1.6.1. Variable independiente

Porcentaje de fibra de vidrio en la mezcla asfáltica (x)

Tabla N° 1.1. Variable independiente

| Variable | Conceptualización | Indicador | Valor/acción |
|--|---|--|------------------------|
| Fibra de vidrio como componente en la mezcla asfáltica en caliente | Esta mezcla se basa en la utilización de la fibra de vidrio como componente en la mezcla asfáltica. | % en peso de la fibra de vidrio en la mezcla asfáltica | Se realizarán ensayos. |

Fuente: Elaboración propia.

1.6.2. Variable dependiente.

Propiedades Marshall (Y).

Tabla N° 1.2. Variable dependiente

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador | Valor/acción |
|----------------------|---|---|---|--|
| Propiedades Marshall | Son las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas por el método Marshall | Varía según el % en peso de la fibra de vidrio en la mezcla asfáltica | -Estabilidad -Fluencia -Densidad -% Vacios -V.A.M -R.B.V | -Relaciones volumétricas -Rotura de briquetas |

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Diseño metodológico.

1.7.1. Métodos y técnicas empleadas.

1.7.1.1. Método.

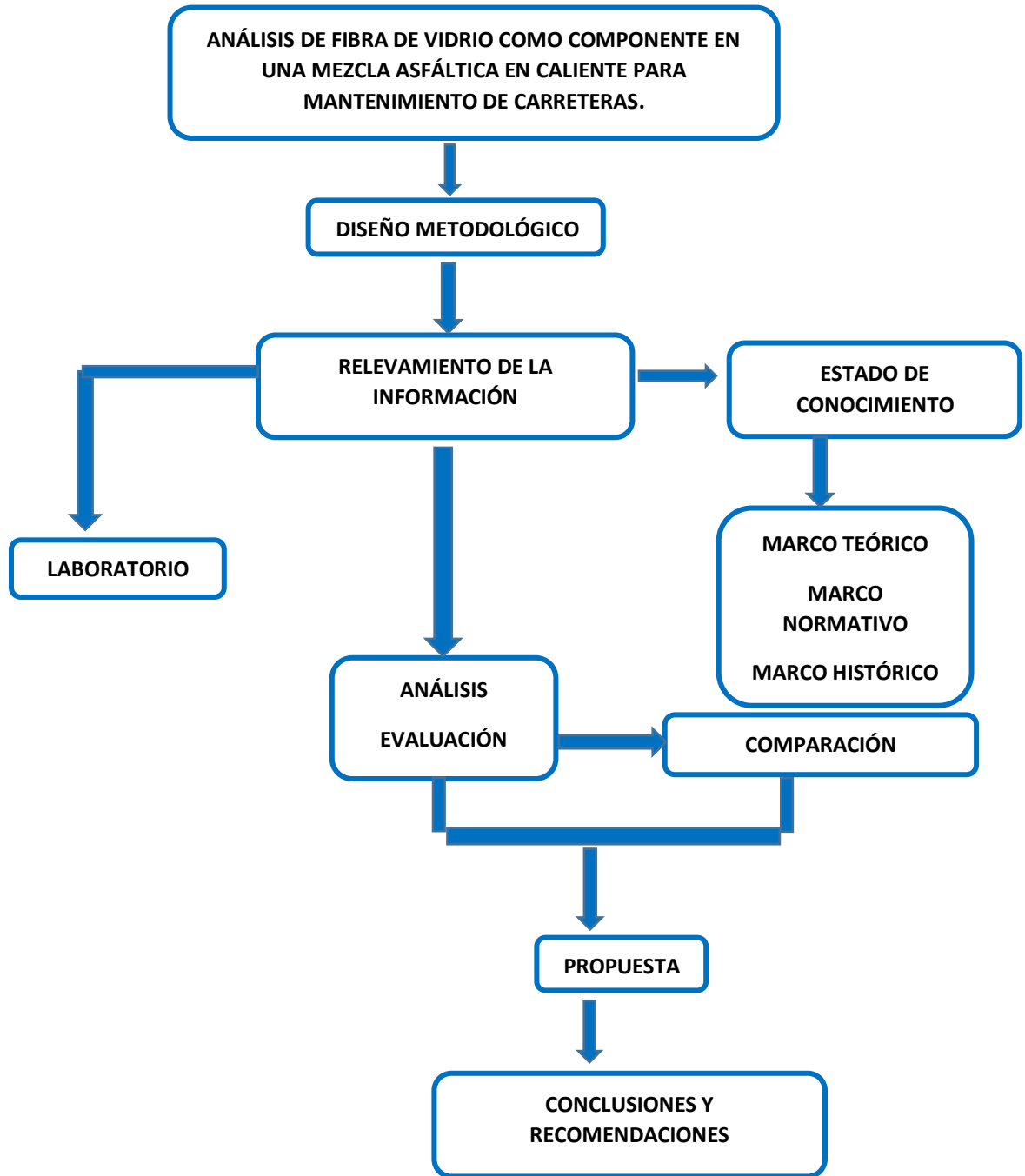
1.7.1.1.1. Método inductivo.

El método inductivo, es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares, se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos más usuales: la observación de los hechos para su registro, la clasificación, estudio de los hechos y permite llegar a una generalización y la contrastación.

Aplicando el método inductivo se dice que se tendrá treinta y seis muestras de mezclas, doce grupos de tres muestras cada una, el primer grupo será una mezcla convencional ya que no contendrá fibra de vidrio los siguientes: dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho, nueve, diez, once, doce, tendrán el contenido de fibra de vidrio a 0.20%, 0.40%, 0.60%, 0.80%, 0.90%, 1.00%, 1.20%, 1.40%, 1.60%, 1.80%, 2.00% y 2.20% de peso contenido los últimos grupos la incorporación y la contrastación del material. Al encontrar el porcentaje óptimo de fibra de vidrio se procederá a un nuevo estudio manteniendo el porcentaje óptimo de fibra de vidrio haciendo variar el porcentaje de cemento asfáltico, para encontrar un nuevo porcentaje de cemento asfáltico ya con el material de fibra de vidrio.

1.7.2. Componentes.

Cuadro sinóptico



1.7.3. Técnicas.

1.7.3.1. Técnicas de investigación experimental.

La investigación experimental está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver. La investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular, su diferencia con los otros tipos de investigación es que el objetivo de estudio y su tratamiento dependen completamente del investigador, de las decisiones que se tomen para manejar el experimento. El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él para controlar el aumento o la disminución de las variables y el efecto en las conductas observadas.

En el experimento, el investigador maneja de manera deliberada la variable experimental y luego observa lo que ocurre en condiciones controladas. La experimentación es la repetición voluntaria de los fenómenos para verificar su hipótesis.

La técnica a utilizar será de forma experimental a través de ensayos de laboratorio, como base se tomará los ensayos descritos en el manual de ensayos de suelos y materiales asfaltos del “Manual de carreteras V4a de ABC”, para realizar la dosificación de la mezcla agregando fibra de vidrio a a 0.20%, 0.40%, 0.60%, 0.80%, 0.90%, 1.00%, 1.20%, 1.40%, 1.60%, 1.80%, 2.00% y 2.20% de peso. Se usará proporciones diferentes para la comparación técnica de esta mezcla asfáltica.

Tabla N° 1.3. Muestras con porcentaje de fibra de vidrio

| Grupo | Porcentaje (%) | Tamaño |
|--------------|-----------------------|---------------|
| 1 | 0.00 | 3 |
| 2 | 0.20 | 3 |
| 3 | 0.40 | 3 |
| 4 | 0.60 | 3 |
| 5 | 0.80 | 3 |
| 6 | 1.00 | 3 |
| 7 | 1.20 | 3 |
| 8 | 1.40 | 3 |
| 9 | 1.60 | 3 |
| 10 | 1.80 | 3 |
| 11 | 2.00 | 3 |
| 12 | 2.20 | 3 |

Fuente: Elaboración propia.

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

Se utilizará el siguiente procedimiento para el análisis, interpretación y validación de los resultados:

1.8.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la técnica matemática que obtiene, organiza, presenta y describe un conjunto de datos con el propósito de facilitar el uso generalmente con el apoyo de tablas, medidas numéricas o gráficas. Además, calcula parámetros estadísticos como las medidas de centralización y de dispersión que describen el conjunto estudiado.

Se usará este procedimiento para describir las características y comportamientos de cada uno y de forma general de los grupos de estudio mediante medidas de resumen, tablas y gráficos.

Se analizará 15 muestras de mezclas asfálticas con fibra de vidrio con el porcentaje más óptimo para verificar que tan confiable son nuestros resultados.

1.8.1.1. Fórmulas para la estadística descriptiva

1.8.1.2. Medidas de centralización

Media aritmética: es la medida de posición de mayor uso, es el valor central o valor de equilibrio que representa a todos los valores de la variable. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de una muestra

x_i = Valores del conjunto de muestra

n = Tamaño de la muestra

Mediana: Es un conjunto de datos ordenados de menor a mayor, la mediana corresponde al dato central, aquel que deja 50% de la información bajo él y el otro 50% es mayor o igual. Es un valor que divide a las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos.

Si el número de datos es par se elige la media de los dos datos centrales, y si es impar la mediana será el valor del dato central.

$$Me = \begin{cases} \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2+1)}}{2}, & \text{si } n \text{ es par} \\ x_{(n+1/2)}, & \text{si } n \text{ es impar} \end{cases}$$

Donde:

$x_{(n/2)}, x_{(n/2+1)}$ = Valores de los dos centrales

$x_{(n+1/2)}$ = Valor del dato central

Me = Mediana

1.8.1.3. Medidas de dispersión.

Desviación estándar: Se realiza el cálculo de la desviación estándar para conocer a detalle un conjunto de datos, no solo basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos también conocer la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describir e interpretar para la toma de decisiones.

Se determina de la siguiente forma:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

S= Desviación estándar

\bar{x} = Media aritmética de una muestra

x_i = Valores del conjunto de una muestra

n= Tamaño de la muestra

Varianza: Es una medida de dispersión relativa, permite efectuar comparaciones entre diversos conjuntos de datos. La varianza se expresa en porcentaje al multiplicarse por 100. Se considera que si la varianza es menor a 50% significa que de baja dispersión, es decir la media aritmética es una buena representación de un conjunto de datos, si es mayor a 50% significa alta dispersión, la media en tal caso no es una buena representación. Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Varianza} = \frac{S}{\bar{x}} * 100 (\%)$$

Donde:

S= Desviación estándar

\bar{x} = Media aritmética de la muestra

1.9. Procesamiento de la información

- Se procedió a recopilar información de anteriores proyectos realizados relacionados con la presente investigación.
- Los agregados de aportación se obtendrán del acopio de la planta de asfaltos de SEDECA de la ciudad de Tarija, ubicada en la comunidad de San José de Charajas, que está a su vez tiene como banco la chancadora de Charajas.
- El cemento asfáltico BETUNEL 85-100 tiene procedencia brasilera y será proporcionado por la planta de asfaltos del SEDECA de la provincia Cercado del departamento de Tarija.
- Se realizó la caracterización de los materiales que componen la mezcla asfáltica en caliente, agregado y cemento asfáltico 85-100.
- Para el cemento asfáltico se procedió a hacer los ensayos de penetración, ductilidad, punto de ablandamiento, punto de inflamación, peso específico.
- Para la grava se procedió a hacer los siguientes ensayos de laboratorio: Peso específico, desgaste de los ángeles, equivalente arena y granulometría.
- Para la gravilla se procedió a hacer los siguientes ensayos de laboratorio: Peso específico, desgaste de los ángeles, equivalente arena y granulometría.
- Para la arena se hizo los siguientes ensayos de laboratorio: Densidad equivalente y granulometría.
- Una vez hecho los ensayos de laboratorio que caracterizaran dichos materiales, se procederá a diseñar la mezcla asfáltica con el cemento asfáltico (85-100), con la granulometría de los agregados para hallar en porcentaje óptimo de cemento asfáltico y luego haciendo variar los porcentajes de fibra de vidrio, obteniendo así la mezcla asfáltica con la fibra de vidrio.
- Dichos porcentajes se adoptarán debido al volumen de la fibra de vidrio y a la mejor maniobrabilidad del mismo, para poder realizar las briquetas. Para los ensayos de la resistencia de la estabilidad Marshall se realizaron un total de 33 briquetas con fibra de vidrio, más 3 briquetas de mezcla asfáltica convencionales serán un total de 36 briquetas y 15 briquetas con el porcentaje de fibra de vidrio en la mezcla asfáltica más óptimo para la estadística de resultados. Haciendo un total de 51 briquetas.

- Al encontrar el porcentaje óptimo de fibra de vidrio se procederá a un nuevo estudio manteniendo el porcentaje óptimo de fibra de vidrio haciendo variar el porcentaje de cemento asfáltico para encontrar un nuevo porcentaje óptimo de cemento asfáltico ya con el material de fibra de vidrio se volvieron a hacer 18 briquetas más.

Una vez realizadas las pruebas de laboratorios por el método Marshall a las muestras de mezcla asfáltica en caliente sin la fibra de vidrio y con la fibra de vidrio se hizo el análisis de comparación entre ambas para ver si añadiendo la fibra de vidrio mejora las propiedades de la mezcla asfáltica.

1.10. Alcance de la investigación.

El análisis de una mezcla asfáltica con fibra de vidrio como componente en la mezcla asfáltica se llevará a cabo con el fin de conocer si utilizando este componente en diferentes proporciones modificará su propiedades, basando como indicador en una mezcla asfáltica convencional que permitan el **análisis de la fibra de vidrio como componente en una mezcla asfáltica en caliente para el mantenimiento de carreteras**. Este análisis determinará si es posible mejora la resistencia y duración de una carretera.

En el primer capítulo, describe de manera general de que trata la investigación, cuyo objetivo es el contenido de fibra de vidrio que se utilizará como componente en la mezcla asfáltica. Se dará a conocer, la situación problemática, los objetivos, la justificación, la hipótesis y la técnica que se empleará en el presente proyecto.

En el segundo capítulo, comprende la parte teórica donde se detalla el estado de conocimiento, es decir, toda la información necesaria, relevante al proyecto, y todo lo referente a la fibra de vidrio, los agregados a utilizar, el diseño de las mezclas asfálticas según el método Marshall, normas, etc.

Describe también los medios y criterios para obtener los datos de caracterización del agregado, cemento asfáltico y fibra de vidrio, que luego son procesados y analizados según norma.

En el tercer capítulo, comprende el diseño de briquetas con el método Marshall, en caliente, con dos tipos de análisis, el primero con la mezcla asfáltica convencional sin

fibra de vidrio y el segundo con una mezcla asfáltica con 11 diferentes porcentajes de fibra de vidrio, para luego hacer un análisis final de datos, según curva de correlación de la variable independiente porcentajes de fibra de vidrio en la mezcla asfáltica, con la variable dependiente que es Marshall. Para luego con estos resultados realizar una propuesta final del proyecto.

En el cuarto capítulo, establecer las conclusiones a partir de lo planteado en los objetivos, dándose a conocer los resultados finales de las comparaciones que se tendrá de las mezclas asfálticas con la fibra de vidrio y de las mezclas asfálticas convencionales del presente proyecto y las recomendaciones para la correcta aplicación y ejecución de este presente trabajo.

Capítulo II

Marco teórico

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Asfalto.

2.1.1. Definición.

El asfalto es un mineral de color oscuro, que presenta propiedades ligantes y aglutinantes, conformado por una serie muy compleja de elementos y compuestos en los que sobresalen los hidrocarburos soluble en gran parte en desulfuro de carbono, presenta consistencia semisólida a las temperaturas ambientes ordinarias pero tiende rápidamente a la liquidez al incrementarse la temperatura.¹

El asfalto o betún según la ASTM (American Society for Testing and Materials), es un material consistente de color marrón oscuro o negro compuesto principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular como los asfaltos, alquitranes breas y asfálticas.

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. Se utiliza para revestir carreteras, impermeabilizar estructuras (como depósitos, techos y tejados), y en la fabricación de baldosas, pisos y tejas.¹

El asfalto de penetración, también llamado cemento Asfáltico, es el material por excelencia para la pavimentación, en virtud de sus propiedades y características. Es un material altamente cementante, termoplástico, repelente del agua y es resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales.

Todo el asfalto comercializado en el medio con la finalidad de ser usado en la pavimentación de carreteras es producido en refinerías de petróleo modernas y se denomina asfalto de petróleo.

¹ ARENAS LOZANO, Hugo León. Tecnología del cemento asfáltico. 5 ed. Popayán: Litocencoa.2006. p.17.

El asfalto de petróleo está compuesto casi enteramente por betún, mientras que en el alquitrán el contenido de betún es relativamente bajo. En vista de estas diferencias es necesario que los productos del alquitrán y los asfaltos de petróleo sean considerados y tratados como elementos completamente separados.

Como el asfalto es un material muy 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 capacidad.

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal (ambiente) es un material negro, pegajoso, semi-sólido y altamente viscoso. Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos, como ser oxígeno, nitrógeno y sulfuro. Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El asfalto para pavimentación es impermeable y no le afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es llamado “material termoplástico” porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

El asfalto natural es durable y ha sido usado a lo largo de la historia antes del año 3800 a.C., el asfalto de petróleo moderno tiene las mismas características de durabilidad, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

2.1.2. Propiedades físicas del asfalto.

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

2.1.2.1. 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 se debe a que el comportamiento del pavimento está 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. Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar el comportamiento del asfalto frente al envejecimiento en horno.

Estas son la Prueba de Película delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). [Asphalt Institute; 1992].

2.1.2.2. Adhesión y cohesión.

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien examina la propiedad del asfalto considerada por algunos como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica – no califica”, y solo puede indicar si la muestra es o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

2.1.2.3. Susceptibilidad a la temperatura.

Los asfaltos son termoplásticos, esto significa que se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida

que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura o tasa de variación de viscosidad con la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia. Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera. Debe entenderse que es de vital importancia conocer las características de viscosidad de un asfalto en todo el rango de temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

2.1.2.4. Endurecimiento y envejecimiento.

Los asfaltos tienden a endurecerse aumentando sus características de consistencia en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el 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 de agregado).

En el proceso de elaboración de la mezcla el asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras se encuentra en el tambor mezclador. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. El margen de viscosidad del material original (antes de la Prueba de Película Delgada en Horno rotatorio – RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

No todos los asfaltos se 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 poder minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado ².

2.1.3. Ensayo de caracterización del cemento asfáltico.

2.1.3.1. Ensayos de penetración.

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

Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico a una temperatura de referencia, 25°C, en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada de 100 gramos de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0.1 mm, es evidente que cuanto más blando sea el asfalto mayor será la cifra que indique su penetración.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D5; AASHTO T99-97).

² En Línea. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104588/salamanca_ga.pdf?sequence=3&isAllowed=y

2.1.3.2. Ensayos de punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland.

El punto de inflamación de un ligaste asfálticos 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 ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de “vaso abierto de Cleveland” que consiste en llenar un vaso con un determinado volumen de asfalto y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El tiempo de inflamación es la temperatura a la cual se han despendido suficientes vapores volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D-92).

2.1.3.3. Ensayos de punto de ablandamiento mediante el aparato anillo y bola.

Para obras de ingeniería se requiere que los materiales a utilizar cumplan ciertos requisitos de calidad y tengan ciertas propiedades químicas y mecánicas; es por esto que se debe determinar las condiciones a las cuales los materiales pierden o cambian estas características, y para el asfalto que es un material bituminoso es preciso determinar a qué temperatura comienza a fluir y para esto se realiza este ensayo. El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas durante su vida de servicio³.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D-36).

2.1.3.4. Ensayos de peso específico.

Este método cubre la determinación de la gravedad específica de materiales bituminosos semi-sólidos, cementos del asfalto y los alquitranes suaves por uso de un picnómetro. Es

³ En Línea. Disponible en: https://www.academia.edu/36133663/ENSAYO_DE_ANILLO_Y_BOLA

útil para hacer las correcciones de volumen cuando este se mide a temperaturas elevadas. Se emplea también como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas.

El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas específicas.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D-70).

2.1.3.5. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.

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

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D-244).

2.2. Agregado en mezclas asfáltica.

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, esta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito.

El agregado mineral estará compuesto por granos gruesos, finos y además un relleno mineral (filler).

Se debe elegir cuidadosamente el tipo de agregado porque sus propiedades varían según el lugar de producción. Es muy importante el manipuleo de los agregados, ya que cuando el acopio de los materiales es malo puede llegar a producirse segregación, separación de materiales, entonces se debe tomar precauciones para evitar este comportamiento.

2.2.1. Propiedades de los agregados.

Es importante considerar que entre los criterios que definen el uso de un agregado sobre otro está la disponibilidad y el costo, más aún es necesario considerar otros criterios esenciales para la elaboración de una buena mezcla, como: tamaño máximo de la partícula, limpieza, dureza, forma de partícula, textura de la superficie, capacidad de absorción y peso específico.

2.2.2. Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas.

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

2.2.2.1. Agregado grueso.

Estarán constituidos por piedras, grava fracturada natural o artificial y eventualmente por materiales naturales que se presenten en estado fracturado o muy anguloso, con textura superficial rugosa son de un tamaño aproximado a 25 mm (1 plg).

2.2.2.2. Agregado fino.

Los agregados finos, presentan tamaños menores de aproximadamente 25 mm (1 plg). Son obtenidos de arena natural proveniente de las fracciones finas, obtenidas por zarandeo en las operaciones de trituración de rocas o de gravas trituradas. Los áridos finos son los que pasan por el tamiz N°4. Se divide en arena y filler.

Arena: La arena es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeño tamaño cuyo tamaño varía entre 0.063 y 2 mm.

Se clasifican por el lugar de excavación en: arena de río, arena de cantera u arena de mar.

Filler: Es también llamado relleno mineral es un producto mineral finamente dividido del que al menos el 65% pasa por el tamiz N°200. La piedra caliza pulverizada es el filler más frecuentemente empleado, aunque puede utilizarse otros polvos de piedra, cal apagada,

cemento portland y algunas sustancias muy finas. El filler en muchos casos aumenta la estabilidad y la calidad de las mezclas asfálticas.⁴

2.2.3. Ensayos de caracterización de los agregados.

La caracterización morfológica de los agregados usados en las mezclas asfálticas es:

Granulometría (ASTM D5821-95).

Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM D-127).

Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM D-128).

Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso (ASTM C-131).

Equivalente de arena (ASTM D-2419).

2.2.3.1. Granulometría.

Tiene como fin determinar la distribución de tamaños de los agregados pétreos, estos son separados por medio de unos tamices predeterminados por el diseño de la mezcla asfáltica.

El procedimiento de ejecución del ensayo consiste en tomar una muestra de suelo de peso conocido, colocarlo en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz. Esta separación de la muestra en dos o más fracciones que contiene cada una de las partículas de un solo tamaño, es lo que se conoce como fraccionamiento.

La determinación del peso de cada fracción que contiene partículas de un solo tamaño es llamado “Análisis Mecánico”. Este es uno de los análisis de suelo más antiguo y común, brindando la información básica por revelar la uniformidad o graduación de un material dentro de rangos establecidos y para la clasificación por texturas de un suelo.⁵

⁴ En Línea. Disponible en: <https://www.arqhys.com/construccion/asfalto-mezclas.html>

⁵ MANUAL TÉCNICO DE CARRETERAS ABC. Ensayos de suelos y materiales*asfaltos volumen 4. Bolivia: ASTM, 2008. D-422

2.2.3.2. Peso específico y absorción del agregado grueso.

Este método describe el proceso por medio del cual se determina el peso específico aparente y nominal, así como la absorción que presentan a las 24 horas de estar sumergidos en agua, esta caracterización se realiza con agregados que sean retenidos por el tamiz de 4.75 mm o N° 4.

El peso específico de un agregado es el cociente entre el peso de un volumen unitario de material y el peso de igual volumen de agua a una temperatura entre 20° y 25° C. Hay tres tipos ampliamente usados de pesos específicos de los áridos: peso específico aparente, peso específico masivo del agregado seco (real- efectivo) y peso específico aparente con agregado saturado.

2.2.3.3. Peso específico y absorción del agregado fino.

Describe el proceso que debe seguirse para determinar el peso específico aparente y real, así como la absorción que presentan a las 24 horas de estar sumergidos en agua⁶.

2.2.3.4. Resistencia al desgaste por abrasión.

El proceso describe el sometimiento a desgaste por medio de la máquina de Los Ángeles de los agregados gruesos máximo de 1 ½” por medio de una carga abrasiva colocada en la máquina.

Este ensayo se emplea para determinar la resistencia de los agregados triturados.

2.2.3.5. Equivalente de arena.

Este ensayo tiene como objetivo determinar la calidad que tiene un suelo que se va emplear en las capas de un pavimento y la cantidad de polvo arcilloso que tiene el agregado fino debido a que este tipo de suelos es nocivo para las mezclas.

⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 450. Bogotá: INVIAS, 2007.

2.3. Mezcla asfáltica convencional.

2.3.1. Definición.

Generalmente una mezcla es el resultado de la combinación de cemento asfáltico y agregados pétreos en unas proporciones exactas y predeterminadas; se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más usuales las mezclas densas en caliente. Se conocen una serie de procedimientos para calcular las cantidades de cada material en la mezcla en caliente, siendo el procedimiento Marshall uno de los métodos más usados y confiables.

Sirve como agente cementante que fija los agregados en la posición adecuada para transmitir las cargas aplicado a las capas inferiores. Los agregados son por lo general piedra partida, grava, arenas, etc., se pueden usar combinados o aisladamente⁷.

Una mezcla tiene que ser duradera, es decir debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, elevadas temperaturas, etc. También una mezcla tiene que ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

2.3.2. Contenido de asfalto.

El contenido de asfalto efectivo es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de agregado. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran parte, de las características de los agregados, tales como granulometría y capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto, entre más finos contenga la gradación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor la cantidad de asfalto necesario para cubrir uniformemente las partículas. Por otro lado, las

⁷ RONDON QUINTANA, Hugo. Serie de guías: Fundamentos 1. 1 ed. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2009. p. 45

mezclas más gruesas (agregados más gruesos) exigen menos asfalto puesto que poseen menos área superficial total.

2.3.3. Propiedades de mezclas asfálticas.

Las propiedades principales que contribuyen a la calidad de una mezcla en caliente son:

Estabilidad: Es la capacidad para resistir la deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento inestable presenta ahuellamientos, corrugaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Durabilidad: Es la capacidad para resistir la acción de los agentes climáticos y del tránsito, que se observa en desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto.

Impermeabilidad: Es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento.

Flexibilidad: Es la capacidad del pavimento para acomodarse sin agrietamientos, a movimientos y asentamientos graduales de la sub rasante.

Resistencia a la fatiga: Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito.

Expresa la capacidad de la mezcla a deformarse repetidamente sin fracturarse.

Trabajabilidad: Es la facilidad de una mezcla a colocarse y compactarse.

Resistencia al deslizamiento: Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada⁸.

2.3.4. Tipos de elaboración de mezclas asfálticas convencionales.

2.3.4.1. Mezcla asfáltica en caliente.

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo

⁸ Asociación de productores y pavimentadores asfálticos de Colombia. Cartilla del pavimento asfáltico. Popayán: ASOPAC, 1994. p.21.

mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante.

Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos⁹.

2.4. Mezcla asfáltica modificadas con polímeros.

2.4.1. Definición de polímero.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuesto químico con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas. A continuación, se nombrarán algunos modificadores que han dado buenos resultados:

Homopolímeros: Que tienen una sola unidad estructural (monómero)

Copo límeros: Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA. SBS).

Elastómeros: Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación.

⁹ En Línea. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/3406514.pdf?sequence=14&isAllowed=y>

2.5. Características y comportamiento de mezclas asfálticas¹⁵.

El análisis está enfocado principalmente hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas pueden tener en el comportamiento de la mezcla. Las principales características son:

2.5.1. Densidad efectiva.

Es el cociente entre la masa del árido y su volumen a una temperatura especificada. El volumen excluye los poros permeables al asfalto.

$$Dr \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{PB(\text{gr})}{VP(\text{cm}^3)}$$

Donde:

Dr. = Densidad relativa de la mezcla (briquetas). (gr/cm³)

PB = Peso de la briqueta sin parafina (gr)

PV = Volumen de la briqueta sin parafina (cm³)

2.5.2. Huecos en la mezcla o vacíos de aire (Va).

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. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido

demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 por ciento.

La fórmula para su cálculo es:

$$V_m(\%) = \frac{D_{mt} - D_{rm}}{D_{mt}} * 100$$

Donde:

V_m = Vacíos de la mezcla compactada

D_{mt} = Densidad máxima teórica.

D_{rm} = Densidad real promedio.

2.5.3. Vacíos en el agregado mineral (VAM).

Es el volumen de vacíos entre las partículas de agregado de una mezcla compactada; incluye los huecos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como porcentaje del volumen total de la muestra.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VAM más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla.

La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$VAM(\%) = Vm(\%) + \frac{CA(\%)*Drm}{GCA}$$

Donde:

VAM (%) = Vacíos del agregado mineral.

Vm (%) = Vacíos de la mezcla compactada.

CA (%) = Porcentaje de cemento asfáltico.

GCA = Peso específico del cemento asfáltico.

Drm = Densidad real promedio.

2.5.4. Relación betún - vacíos (%)

Expresa el porcentaje de los vacíos del agregado mineral ocupado por el cemento asfáltico en la mezcla compacta.

Esta propiedad es el porcentaje de los vacíos del agregado mineral (VAM) que contiene asfalto. La fórmula de cálculo es la siguiente.

$$RBV(\%) = \frac{VAM(\%) - Vm(\%)}{VAM(\%)} * 100$$

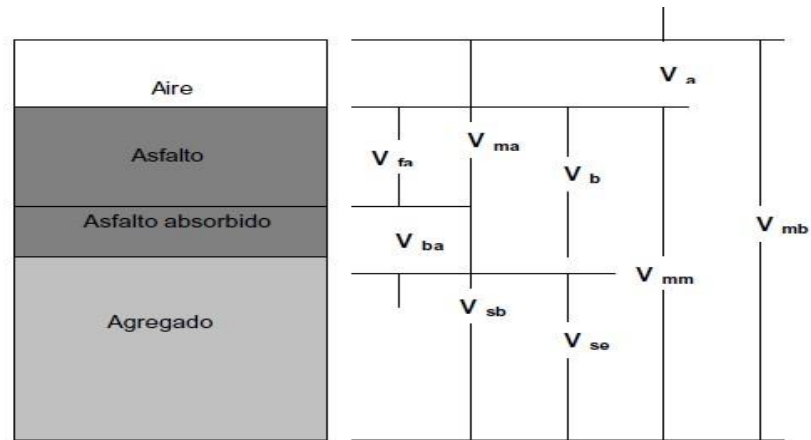
Donde:

RBV (%) = Relación betumen vacíos.

VAM (%) = Vacíos del agregado mineral.

Vm (%) = Vacíos de la mezcla compactada.

Figura 2.1. Diagrama de compactación.



Fuente: Instituto de Piura. Diseño de mezclas asfálticas.

Donde:

V_{ma} = Volumen de vacíos en agregado mineral.

V_{mb} = Volumen total de la mezcla asfáltica.

V_{mm} = Volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos.

V_{fa} = Volumen de vacíos llenados con asfalto.

V_a = Volumen de vacíos de aire.

V_b = Volumen de asfalto.

V_{ba} = Volumen de asfalto absorbido.

V_{sb} = Volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa).

V_{se} = Volumen de agregado mineral (gravedad específica efectiva).

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) y vacíos de aire (V_a), se expresan como un porcentaje del volumen de la mezcla asfáltica. Los vacíos llenos de asfalto (RVB) son el porcentaje del VAM llenado con el asfalto efectivo.

Dependiendo de cómo se especifica el contenido de asfalto, el contenido de asfalto efectivo puede ser expresado como un porcentaje de la masa total de la mezcla asfáltica o como porcentaje de la masa del agregado de la mezcla asfáltica.

Debido a que el vacío de aire, VAM y RBV son cantidades de volumen; una mezcla asfáltica, primero debe ser diseñada o analizada sobre la base del volumen. Para propósitos de diseño este acercamiento volumétrico puede ser fácilmente cambiado a valores masas, para proveer una mezcla de diseño¹⁰.

2.6. Diseño de mezclas por el método Marshall.

El Método Marshall es aplicable a mezclas en caliente de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad que contengan áridos con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm (1 pulgada). Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de campo de mezclas asfálticas de pavimentación.

2.6.1. Descripción del método de Marshall.

El Método Marshall debe cumplirse como se encuentra especificado en la Norma AASTHO T245 o ASTM D 1559 del “Manual de ensayos de suelos y materiales asfalto; Volumen 4”

2.6.2. Procedimiento en resumen del ensayo Marshall.

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

Determinación del peso específico total: El peso específico total de cada probeta es determinado tan pronto las briquetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de la densidad-vacíos. Se usa el procedimiento de la norma AASHTO T166.

Ensayo de estabilidad y fluencia: El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la consistencia a la deformación de la mezcla.

¹⁰ UNIVERSIDAD DE PIURA. (Citado 10 agosto, 2017). Diseño de mezclas asfálticas. Lima: La En línea Disponible en: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_130_181_83_1181.pdf

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

Valor de estabilidad Marshall: El valor de estabilidad es una medida de la carga bajo la cual una briqueta cede o falla totalmente. Durante un ensayo cuando la carga es aplicada lentamente, el cabezal superior se acerca al cabezal inferior lentamente y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador. Luego se suspende la aplicación de la carga una vez que la briqueta falle después de haber registrado la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de la estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto es mucho mejor.

Figura 2.2. Medidor de estabilidad. Marshall



Fuente: Cueva del ingeniero civil.

Valor de fluencia Marshall: La fluencia es medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores altos de estabilidad Marshall son considerados demasiado frágiles y rígidos para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas del tránsito.

2.7. Normativa a utilizar en el proyecto de experimentación.

Los ensayos de caracterización se realizarán según corresponde en el “Manual de ensayos de suelos y materiales – asfalto. Volumen 4”.

Para los agregados:

- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422; AASHTO T-88)
- Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM D-127).
- Determinación del peso específico y absorción del agregado fino (ASTM D-128).
- Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131; AASHTO T96-99).
- Método para determinar equivalente de arena (ASTM D-2419).

Para el Cemento asfáltico convencional:

- Método de ensayo de penetración (ASTM D5; AASHTO T49 - 97).
- Método para determinar el punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01; AASHTO T79-96).
- Método para determinar el punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola (ASTM D-36; AASHTO T53-96).
- Método para determinar el peso específico (AASHTO T-228)
- Método para determinar la ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T51-00).

2.8. Mantenimiento de carreteras.

El mantenimiento de una red vial eficiente incluye no sólo la correcta construcción de las carreteras, sino también su mantenimiento una vez construidas. Las carreteras son dañadas a través de una fase de lento deterioro con fallas poco perceptibles para pasar a una fase en la que el deterioro se acelera presentando un colapso de las estructuras para finalmente producir su destrucción total. Por esta razón, el mantenimiento de las carreteras es esencial.

Muchas de las carreteras por las que se transita a diario tienen la carpeta asfáltica en mal estado, lo que puede provocar un peor agarre y un aumento de la distancia de frenado. Es comprensible que la inversión en tiempos de crisis se reduzca para la construcción de nuevos edificios; pero no es aconsejable descuidar el estado de una carretera existente que los conductores utilizan a diario. La financiación para la conservación y el mantenimiento de las carreteras se utilizan de forma eficiente y representa un ahorro al cabo de 10 años. Significa prolongar la vida útil de la carretera en unos 20-30 años. Es mucho más barato revestir una carretera que reconstruirla directamente.

2.8.1. Tipos de mantenimiento vial.

El mantenimiento de carreteras y vías (mantenimiento de vías terrestres) es importante porque de esta manera se asegura la vida útil esperada de las mismas, manteniendo un buen funcionamiento de la carretera.

Los tipos de mantenimiento de carreteras que se pueden realizar son los siguientes:

- Mantenimiento de rutina.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento periódico.
- Mantenimiento de emergencia.

2.8.1.1. Mantenimiento de rutina.

Es lo que se realiza en el transcurso del año, la finalidad de este mantenimiento es evitar el inicio del deterioro de la carretera en cuestión.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- Limpieza de zanjas.
- Limpieza de alcantarillas.
- Limpieza de deslizamientos de tierra menores.
- Despeje de zanjas y zonas laterales.
- Reparación de la señalización vertical.
- Limpieza de las salidas de los puentes.
- Limpieza de los elementos derramados en la carretera (Calzada).
- Repintado de señalización horizontal.
- Relleno de baches en la vía.
- Mantenimiento preventivo.
- Se realiza antes de la temporada con la mayor presencia de precipitaciones.

2.8.1.1.1. Bacheo de caminos.

Bacheo es el proceso de reparación en pequeñas áreas fracturadas de las carpetas asfálticas se denomina (parcheo), la reconfiguración, el reemplazo o adición de material de base o sub-base subyacente a la carpeta deteriorada se denomina (bacheo) cuando sea necesario.

2.8.1.2. Mantenimiento preventivo de carreteras.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- Limpieza de zanjas.
- Limpieza de alcantarillas.
- Limpieza de los pilotes del puente.
- Dragado de ríos.
- Limpieza de los torrentes.

- Mantenimiento periódico.
- Esto se hace cada 1 a 5 años, asegurando así la vida útil de la carretera.

2.8.1.3. Mantenimiento periódico de carreteras.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- Reconfiguración de la plataforma.
- Sellado de asfalto.
- Capa de refuerzo de asfalto.
- Sustitución de escombros.
- Perfiles y nivelación.

2.8.1.4. Mantenimiento de emergencia.

Es la que se realiza durante la época de lluvias, ya que en este período puede haber casos de emergencia.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- Limpieza de deslizamientos de tierra.
- Sustitución de la plataforma.
- Construcción de variantes.
- Estabilización de taludes¹¹.

¹¹(<https://www.ingecivil.net/2018/01/30/tipos-de-mantenimiento-de-carreteras-clasificacion/>, n.d.)

2.9. Fibra de vidrio.

Las fibras de vidrio son incombustibles, no absorbentes y químicamente estables. Resisten el ataque de insectos, roedores y hongos. Las fibras de vidrio para aislamientos térmicos y para trabajo acústico se fabrican a partir de un vidrio de composición baja en álcali. La fibra para uso en el campo eléctrico se fabrica a partir de vidrio con ausencia total de óxidos de metales alcalinos.

Figura 2.3: Fibra de vidrio presentación en rollo



Fuente: Amazon fibra de vidrio.

Figura 2.4: Fibra de vidrio picada



Fuente: Amazon fibra de vidrio.

2.9.1. Tipos de fibra de vidrio.

- Vidrio A: alto contenido en sílice, uso como reforzante u posee gran resistencia química.
- Vidrio B: excelentes propiedades eléctricas y gran durabilidad.
- Vidrio ERC: con propiedades eléctricas combinadas con resistencia química.
- Vidrio S*: es el más costoso. Alta resistencia a la tracción y estabilidad térmica. Construcción aeronáutica.
- Vidrio C: alta resistencia química.
- Vidrio R*: alta resistencia mecánica módulo de elasticidad.
- Vidrio D: alto coeficiente dieléctrico.
- Vidrio X: transparencia a los rayos x.
- Fibra de vidrio mat 300: está compuesta por fibra de vidrio tejida con porcentaje de álcali.

2.9.2. Formación de la fibra de vidrio.

La fibra de vidrio la forma de hebras delgadas a base de sílice o de formulaciones de vidrio, seccionadas en filamentos de diámetros pequeños e idóneos para procesos de tejeduría, además resalta que la técnica de calentar y elaborar fibras finas a partir de vidrio se conoce desde hace tiempo atrás.

2.9.3. Procesos de fabricación de la fibra vidrio.

2.9.3.1. Fundición.

Para el presente proceso, se encontraron diferentes pautas de acción con sus respectivos resultados, donde la primera es un proceso directo y la segunda es un proceso de refundición de canicas, el cual pasan por una serie de procedimiento en donde se obtiene la formación de los insertos.

2.9.3.2. Formación.

El proceso de formación consta de los siguientes elementos:

- Aleación de platino y rodio.
- Temperatura adecuada para la formación de la fibra.

- Boquillas.
- Tensión superficial de vidrio.
- Velocidad de atenuación.

2.9.3.3. Proceso de filamentos continuos.

El proceso de filamento continuo luego de ser atenuada, a la fibra se le aplica un apresto especial que permite que pueda ser embobinada o enrollada. La adición de este compuesto también puede tener relación con su uso destinado, ya que algunos de ellos son co-reactivos (pre impregnados) con ciertos tipos de resina cuando la fibra va a ser usada para conformar un material compuesto. El apresto que se añade usualmente tiene una relación de entre 1 y 2% de peso. El enrollado posterior se realiza a una tasa de 1000 m por minuto¹².

2.2.3.4. Proceso de fibra corriente.

Se encuentran diversos métodos de manufactura para el proceso de fibra corriente, entre ellos identificados el proceso de soplado con calor, ejecución de la máquina de conformado y el proceso rotativo.

2.2.3.5. Usos de la fibra de vidrio.

Resalta el uso de la fibra de vidrio en procesos de aislamiento acústico, aislamiento térmico y aislamiento eléctrico en recubrimientos, ya que logra ser refuerzo a diversos materiales y a rellenos estructurales ligeros de panal (técnica de armado con honeycomb).

Por otro lado, se conoce la utilización para propósitos médicos en férulas y para la fabricación de tanques y silos de material compuesto.

¹²(<https://www.plaremesa.net/que-es-la-fibra-de-vidrio>, n.d.)

2.9.4. Propiedades de la fibra de vidrio.

2.9.4.1. Resistencia química.

La resina es un componente de la fibra de vidrio que la hace resistente a la erosión química y del medio ambiente. Por tanto, la fibra de vidrio no se pudre ni se deteriora, ya que es resistente a la mayoría de los ácidos.

2.9.4.2. Peso ligero.

El peso específico accede que sea de fácil manipulación e instalación.

2.9.4.3. Bajo mantenimiento.

Se destaca que gracias a las características intrínsecas de la fibra de vidrio, los compuestos no necesitan ningún mantenimiento especial, incluso después de muchos años de uso en aplicaciones externas.

2.9.4.4. Aislamiento eléctrico.

La fibra de vidrio no conduce la electricidad, por lo que es ideal para aplicaciones donde se busque el aislamiento eléctrico de ciertas instalaciones.

2.9.4.5. Versatilidad.

Se trata de un producto muy versátil: amplia gama de filamentos, tamaños, tipos de fibra, etc.

2.9.4.6. Excelente aislante térmico.

La fibra de vidrio tiene un bajo coeficiente de expansión térmica y conductividad térmica relativamente alta. Esto hace que disipe el calor de forma más rápida y sea perfecto para usarlo como aislante térmico. Por tanto, es ideal para instalaciones en el exterior, ya que no hay preocupación de que se deteriore por estar expuesto al sol durante mucho tiempo.

2.9.5. Ventajas y desventajas.

2.9.5.1. Ventajas.

- Ligereza.
- Prestaciones mecánicas.
- Puesta a punto de nuevos procesos más económicos.
- Integración en la fabricación.
- Hibridación.
- Transparencia a las ondas electromagnéticas.

2.9.5.2. Desventajas.

- Costo.
- Fabricación compleja.
- Control de calidad complejo.
- Competidores los metales.
- Rigidez (fibra de vidrio).
- Análisis estructural complejo.

2.9.6. Características técnicas de la fibra de vidrio.

Las características técnicas y tipos de presentación de la fibra de vidrio en general se presentan en las siguientes tablas¹².

¹²(<https://www.plaremesa.net/que-es-la-fibra-de-vidrio>, n.d.)

Tabla N° 2.1. Características técnicas de la fibra de vidrio en general

| Propiedades físicas | Valor | Unidades | Norma |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------|
| Peso específico | 1.65-1.75 | g/cm ³ | UNE 53020 -73 |
| Contenido de vidrio | 55-70 | % | |
| Absorción de agua | 0.4-1.0 | %pes | UNE 53028 -55 |
| Coefficiente de dilatación lineal | 15-17 | 1/°C.10 ⁶ | UNE 53126.79 |
| Propiedades mecánicas | Valor | Unidades | Norma |
| Dureza barcol | 50-55 | | |
| Resistencia al impacto | 150 | daN cm/cm ² | UNE 53021 -81 |
| Resistencia a la flexión longitudinal | 300-500 | Mpa | UNE 53066 -76 |
| Resistencia a la tracción | 400-650 | Mpa | UNE 53023 -86 |
| Resistencia a la compresión | 150-300 | Mpa | UNE 53024 -86 |
| Módulo de elasticidad (E) | 15000-32000 | Mpa | UNE 53022 -76 |
| Propiedades eléctricas | Valor | Unidades | Norma |
| Constante dieléctrica a 50 Hz | 4.0-6 | | UNE 53189 -75 |
| Rigidez dieléctrica | 3.0-7 | KV/mm | UNE 53030 -55 |
| Factor de pérdida a 50 Hz | 0.03-0.04 | Tg delta | UNE 53189 -75 |
| Resistencia al aislamiento superior | 10 ¹⁰ /10 ¹³ | Ω | UNE 53031 -74 |
| Tipo aislamiento | F/H | | |
| Propiedades térmicas | Valor | Unidades | Norma |
| Conductividad térmica | 0.2-0.3 | Kcal/mH°C | UNE 53037 -76 |
| Resistencia a la temperatura | -65/+180 | °C | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 2.2: Presentaciones de la fibra de vidrio

| Tipo | Espesor (mm) | Ancho (mm) | Largo (m) | R100 |
|--------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| Rollo papel 1 cara | 40 | 1.20 | 24 | 94 |
| Rollo papel 1 cara | 50 | 1.20 | 12 | 122 |
| Rollo papel 1 cara | 60 | 1.20 | 12 | 141 |
| Rollo papel 1 cara | 80 | 1.20 | 9.60 | 188 |
| Rollo papel 1 cara | 100 | 1.20 | 7.50 | 235 |
| Rollo papel 1 cara | 120 | 1.20 | 7.50 | 282 |
| Rollo papel 1 cara | 140 | 1.20 | 5.50 | 329 |
| Rollo papel 1 cara | 160 | 1.20 | 5.50 | 376 |

Fuente: Elaboración propia.

*El factor R100 indica la capacidad de aislación térmica y sus unidades son (m^{2.0}C/W)

Capítulo III

Desarrollo Experimental

Capítulo III

Desarrollo Experimental

3.1. Componentes.

3.1.1. Unidad de estudio o muestreo.

Mezclas asfálticas.

3.1.2. Población.

Mezclas asfálticas en caliente.

3.1.3. Muestra.

Mezclas asfálticas en caliente adicionando fibra de vidrio.

3.1.4. Muestreo.

El muestreo de los componentes de las mezclas asfálticas se realizó de la siguiente forma:

- El cemento asfáltico convencional se obtuvo del SEDECA del departamento de Tarija, Bolivia.
- El agregado para mezcla fue proporcionado por el SEDECA de la planta de áridos de Charajas Tarija, Bolivia.
- La fibra de vidrio se utilizó del mercado local del departamento de Tarija, Bolivia.

3.2. Métodos y técnicas empleadas.

Para realizar el presente trabajo de investigación se utilizará el método para determinar la resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas utilizando el equipo de Marshall, que es una máquina básica de compresión y ensayo de estabilidad del asfalto. Mide la estabilidad y el flujo de las mezclas de pavimentos bituminosos.

3.3. Caracterización de los materiales (agregados, cemento asfáltico y fibra de vidrio).

Es muy importante la caracterización de los materiales con los que se realizará el trabajo de investigación para determinar si estos se encuentran en los rangos establecidos para cada ensayo a realizar.

Agregados. - Los ensayos que se realizarán para caracterizar los agregados serán:

- Granulometría (ASTM E-40 AASHTO T27-99).
- Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM E-127 AASHTO T85-91).
- Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM E-128 AASHTO T84-00).
- Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131 AASHTO T96-99).
- Equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176-00).

Ensayo de Granulometría. - Para el ensayo de la granulometría se necesitará un juego de tamices 1", 3/4", 1/2", 3/4", N°4, N°8, N°10, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200.

Peso específico y absorción del agregado. - Para el ensayo de peso específico se necesitará un cesto, dos varillas, balanza de precisión y también se utilizará la guía de laboratorio para su desarrollo.

Ensayo de Resistencia al desgaste por abrasión. - Para la realización de este ensayo se necesitará el equipo de laboratorio que un tambor y esferas de hierro.

Cemento asfáltico convencional (85-100). - Los ensayos que se realizarán para caracterizar el asfalto convencional serán:

- Penetración (ASTM D 5; AASHTO T49-97).
- Punto de inflamación (ASTM D1310-01).
- Punto de ablandamiento (ASTM D-36; AASHTO T53-96).
- Peso específico (ASTM D-70; AASHTO T228-93)
- Ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T51-00).

Ensayo de penetración. - Para este ensayo se usará un penetrómetro para determinar la penetración del asfalto.

Ensayo de inflamación. - Se necesitará una copa abierta de Cleveland para determinar el punto de inflamación.

Punto de ablandamiento. - Se utilizará el aparato de anillo y bola para determinar el punto de ablandamiento.

Ductilidad. - Se utilizará el ductilímetro.

Fibra de vidrio mat 300.- Los ensayos que se realizarán para caracterizar la fibra de vidrio son los siguientes.

- Ensayo para determinar el peso específico a granel de la fibra vidrio con referencia a (ASTM E-128 AASHTO T84-00).
- Ensayo de película delgada en fibra de vidrio con referencia a (ASTM D1757 AASHTO T179-05)
- Ensayo de resistencia a la temperatura en fibra de vidrio utilizando el horno de ignición con referencia a (ASTM D1757 AASHTO T179-05).

3.4. Instrumentos para realizar el trabajo de investigación.

Se utilizará el aparato de Marshall para realizar el método de resistencia a la deformación de mezclas asfálticas, corresponde los siguientes equipos.

Prensa Marshall.

- Moldes de compactación.
- Martillo de compactación.
- Extractor.
- Termómetro de vidrio.
- Horno.
- Baño de agua.
- Fuentes grandes y pequeñas.
- Cocina a gas.
- Espátula.

- Agregados pétreos.
- Cemento asfáltico convencional.

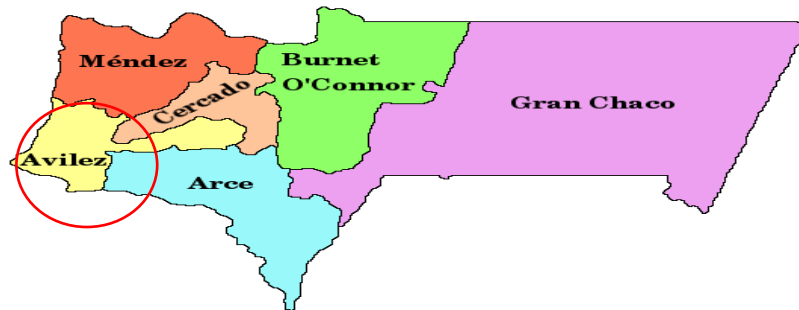
3.5. Selección de material.

Los materiales que se utilizaron para la presente investigación son los siguientes:

3.5.1. Agregados.

Los agregados a utilizar para las mezclas asfálticas en caliente son de la Chancadora de Charajas que pertenece al Servicio Departamental De Caminos (SEDECA), ubicada en la provincia Avilés, Municipio Uriondo aproximadamente a 41 km de la ciudad de Tarija.

Figura N° 3.1 Mapa político de Tarija



Fuente: Wikiwand.com

Figura N° 3.2 Mapa del municipio Uriondo.

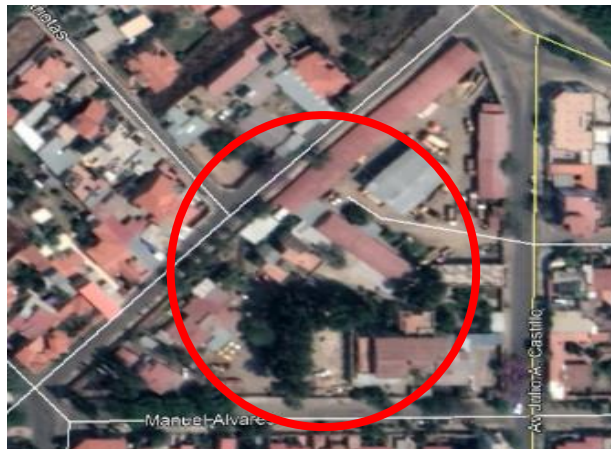


Fuente: Wikiwand.com

3.5.2. Cemento asfáltico.

El cemento asfáltico convencional que se utilizara en la investigación fue proporcionado por el SEDECA Tarija. El cemento asfáltico es BETUNEL 85-100 del Brasil.

Figura N° 3.3 Ubicación SEDECA.



Fuente: Elaboración propia.

3.6. Especificaciones técnicas de los asfaltos.

Tabla N° 3.1. Especificaciones técnicas del cemento asfáltico BETUNEL 85/100

| Certificado de calidad del producto BETUNEL (85/100) | | | | |
|--|----------|---|-------------------------------|-------------|
| Características del producto | | | | |
| Especificaciones técnicas formulario c-1 (llenado por la entidad) ensayos de verificación de calidad del material solicitado (ensayos AASHTO) | Limites | Método | Productibilidad | Encontradas |
| 0,1mm (T-201) | 85 a 100 | NBR-8576 ; ASTM D5; AASHTO T201 | ± 4 dmm | 91 |
| Viscosidad Saybolt Furoi 135°C seg. (T-72) | 85 seg | NBR-14950 ; ASTM D88; AASHTO T72 | ± 2 % | 120 |
| Ensayo de la mancha @ 20% Xilol (T-102) | Negativo | ASTM D2170; AASHTO T102 | ND ASTM D2170; AASHTO T102 | Negativo |
| Punto de ablandamiento °C (T-53) | 43 a 46 | NBR-6560; ASTM D36; AASHTO T53 | ± 3°C | 45 |
| Ductilidad a 25°C 5 cm/min, cm (T-51) | 214 min | NBR-15184 ; ASTM D4402; AASHTO T318 | ND | 290 |
| Viscosidad de Brookfield a 150°C, Cp | 97 min | NBR-15184; ASTM D4402; AASHTO T318 | ND | 152 |

| | | | | |
|--|-----------------|--|---------------|-----------|
| Viscosidad de Brookfield a 177°C, Cp | 28 a 114 | NBR-15184; ASTM D4402; AASHTO T318 | ND | 58 |
| Temperatura de mistura, °C | Indicativo | Calculo | ND | 141 a 147 |
| Temperatura de compactación, °C | Indicativo | Calculo | ND | 130 a 136 |
| Índice de Penetración de Pleifler | (-)1.5 a 0.5 | Calculo | ND | |
| Punto de inflamación C.O.C. °C (T-48) | 230 min | NBR-11341; ASTM D92; AASHTO T48 | ± 18°C | > 235 |
| Solubilidad en Tricloroatileno (T-44) | 99 min | NBR-14855; ASTM D2042; AASHTO T44 | ± 0,26 % | 99.9 |
| Densidad a 25°C c/25 °C (T-228) | 0.99 min | NBR-6292; AASHTO T228 | ± 0,005 | 1.01 |
| Ensayos sobre el residuo película delgada (TFOT), 32 mm, 163°C (AASHTO T240) | | | | |
| (R)TFOT - Pérdida de masa (T-240) | 1 máx. | NBR-15235; ASTM D2872; AASHTO T240 | consultar NBR | 0.41 |
| (R)TFOT - Penetración del Residuo,% de la penetración original | 50 min. | Calculo | ND | 55 |
| (R)TFOT-Perdida por Calentamiento (T-179)% | 1 máx. | Calculo; AASHTO T-179 | ± 4 dmm | 0.42 |

Fuente: Elaboración propia

Para la presente investigación se utilizó un cemento asfáltico:

Cemento asfáltico convencional de procedencia Brasil BETUNEL 85-100.

3.5.3. Fibra de vidrio.

La fibra de vidrio utilizada en la presente investigaciones es la fibra de vidrio mat 300 de procedencia del Brasil. Se utilizó este tipo de fibra de vidrio porque es la más comercializada de la región. Esta Fibra de vidrio es fabricada a partir de filamentos de vidrio de 50mm. De longitud y distribuidos de manera aleatoria para formar un colchón regular.

La manta o “**Mat**” 300 y el velo de superficie de unos 30 gr/m². Los tejidos tienen una alta resistencia mecánica por su hilado bidireccional.

3.5.3.1. Presentación de la fibra de vidrio.

Se presenta en rollos para las cantidades de 5, 10 y 25 m² o superior. Se presenta envasada y doblada.

Figura N° 3.4. Fibra de vidrio doblada.



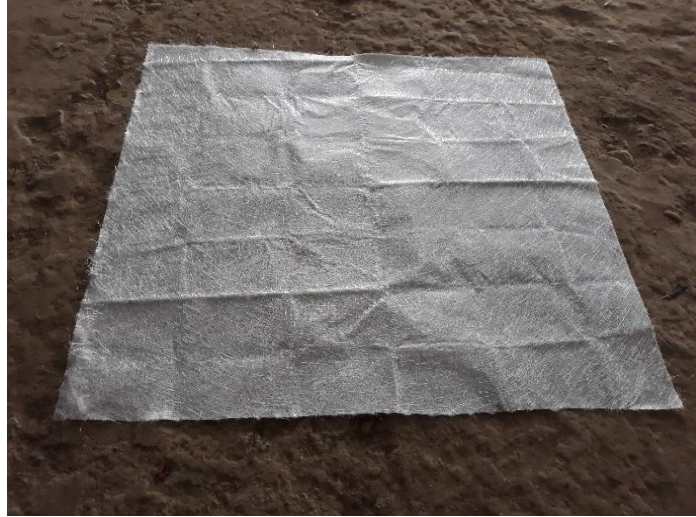
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.5. Fibra de vidrio en rollo.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.6. Fibra de vidrio utilizada en la presente investigación.



Fuente: Elaboración propia

3.5.3.2. Características técnicas de la fibra de vidrio mat 300.

- Ligante: Emulsión.
- Peso: 300 gr/m² + 10% conforme a la norma ISO 3374.
- Longitud de fibra: 50 mm.
- Contenido de humedad: $\leq 0,20$ % conforme a la norma ISO 3344.
- Tensión de Rotura: ≥ 120 N / 150 mm conforme a la norma ISO 2558.
- Peso nominal: 32 oz. /yd²
- Color: blanco.
- Peso específico: 1.65-1.75 g/cm³
- Contenido de vidrio: 50-70 %
- Conductividad térmica : 0.2-0.3 Kcal/Mh⁰c
- Resistencia a la temperatura: -65 / +180 °C.

3.5.3.3. Proveedor de la fibra de vidrio.

En la presente investigación el proveedor del material de fibra de vidrio es la Empresa Fibra Center que está en Santa Cruz. Es la encargada de importar el material de fibra de vidrio del Brasil, esta fue la encargada de facilitar las especificaciones técnicas de la fibra de vidrio mat 300, se pudo constatar con diferentes comercios de Tarija que la gran mayoría hace pedido del material de fibra de vidrio a esta empresa.

Figura N° 3.7. Presentaciones de la fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.8. Información acerca de fibra center

PARA MÁS INFORMACIÓN

Telefono: 69274201- 3538514
Email: fibracenter@gmail.com

Tiene alguna pregunta? No dude en escribirnos, con gusto le responderemos.

Escribenos para mas informacion
Click aqui

Visitanos en nuestras oficinas:

Sucursal: Sobre Av. Roca Aguilera (3er anillo interno), entre calle pico del monte y minero.
Como llegar con micro, lineas: 74, 75, 82, 119, entre otras.

Of. Central: Av. Roca y Coronado, entre 4to y 3er anillo, diagonal al restaurant Don Quijote. Edificio de dos plantas en plena esquina y con una antena.
Como llegar con micro, lineas: 29, 53

O mira nuestra ubicacion:

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Caracterización de los agregados.

Para la caracterización de los agregados se procedió a realizar los ensayos que son necesario para dosificación de una mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall. Para un mejor detalle de los cálculos y procedimiento de cada ensayo de caracterización de los agregados ver los anexos 1 y 4 agregados.

3.6.1. Granulometría de los agregados (ASTM E-40; AASHTO T27-99).

Tabla N° 3.2. Granulometría de la grava, gravilla y arena.

| Peso total (gr.) | | 5000 | | |
|------------------|-------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Tamices | Tamaño (mm) | % que pasa del total (Grava) | % que pasa del total (Gravilla) | % que pasa del total (Arena) |
| 1" | 25.40 | 100.00 | 100.00 | - |
| 3/4" | 19.00 | 93.45 | 100.00 | - |
| 1/2" | 12.50 | 24.08 | 99.87 | 100.00 |
| 3/8" | 9.50 | 5.93 | 99.03 | 100.00 |
| N°4 | 4.75 | 0.02 | 23.65 | 99.44 |
| N°8 | 2.36 | 0.02 | 1.13 | 80.24 |
| N°16 | 1.18 | 0.02 | 0.75 | 59.88 |
| N°30 | 0.60 | 0.02 | 0.73 | 39.72 |
| N°50 | 0.30 | 0.02 | 0.70 | 21.52 |
| N°100 | 0.15 | 0.02 | 0.63 | 10.64 |
| N°200 | 0.075 | 0.02 | 0.38 | 5.12 |
| BASE | - | 0.02 | 0.02 | 0.01 |

Fuente: Elaboración propia.

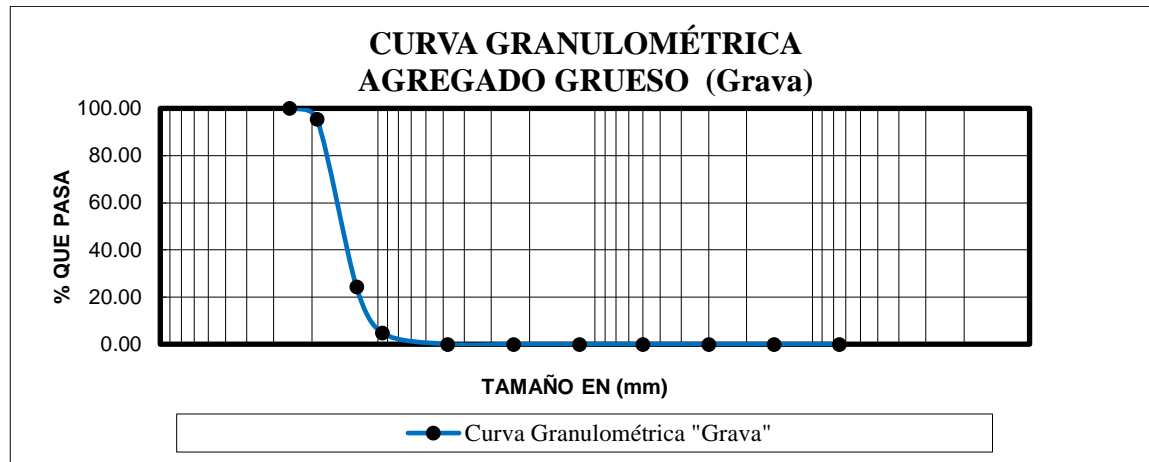
3.6.1.1. Granulometría del agregado grueso (grava)

Tabla N° 3.3: Granulometría de la grava.

| Peso Total (gr.) | | 5000 | | | |
|------------------|-------------|-------------|-----------|--------|----------------------|
| Tamices | tamaño (mm) | Peso Ret. | Ret. Acum | % Ret | % que pasa del total |
| 1" | 25.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.0 | 228.60 | 228.60 | 4.57 | 95.43 |
| 1/2" | 12.5 | 3561.30 | 3789.90 | 75.80 | 24.20 |
| 3/8" | 9.50 | 973.60 | 4763.50 | 95.27 | 4.73 |
| N°4 | 4.75 | 236.30 | 4999.80 | 100.00 | 0.00 |
| N°8 | 2.36 | 0.00 | 4999.80 | 100.00 | 0.00 |
| N°16 | 1.18 | 0.00 | 4999.80 | 100.00 | 0.00 |
| N°30 | 0.60 | 0.00 | 4999.80 | 100.00 | 0.00 |
| N°50 | 0.30 | 0.00 | 4999.80 | 100.00 | 0.00 |
| N°100 | 0.15 | 0.00 | 4999.80 | 100.00 | 0.00 |
| N°200 | 0.07 | 0.00 | 4999.80 | 100.00 | 0.00 |
| BASE | - | 0.00 | 4999.80 | 100.00 | 0.00 |
| Suma | | 4999.80 | | | |
| Pérdidas | | 0.20 | | | |
| Mf = | | 7.95 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 3.1. Curva granulométrica grava



Fuente: Elaboración propia.

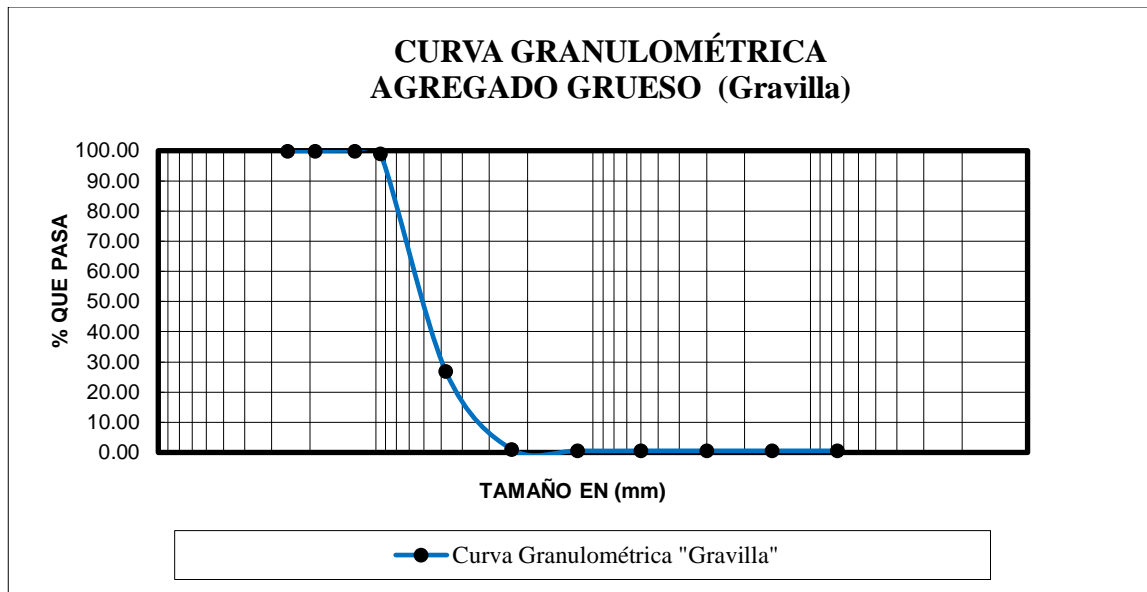
3.6.1.2. Granulometría del agregado grueso (gravilla).

Tabla N° 3.4. Granulometría de la gravilla

| Peso Total (gr.) | | 5000 | | | |
|------------------|-------------|-------------|-----------|--------|----------------------|
| Tamices | Tamaño (mm) | Peso Ret. | Ret. Acum | % Ret | % que pasa del total |
| 1" | 25.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.50 | 50.40 | 50.40 | 1.01 | 98.99 |
| N°4 | 4.75 | 3606.80 | 3657.20 | 73.14 | 26.86 |
| N°8 | 2.36 | 1291.70 | 4948.90 | 98.98 | 1.02 |
| N°16 | 1.18 | 24.20 | 4973.10 | 99.46 | 0.54 |
| N°30 | 0.60 | 0.00 | 4973.10 | 99.46 | 0.54 |
| N°50 | 0.30 | 0.00 | 4973.10 | 99.46 | 0.54 |
| N°100 | 0.15 | 0.00 | 4973.10 | 99.46 | 0.54 |
| N°200 | 0.07 | 0.00 | 4973.10 | 99.46 | 0.54 |
| BASE | - | 26.90 | 5000.00 | 100.00 | 0.00 |
| Suma | | 5000.00 | | | |
| Pérdidas | | 0.00 | | | |
| Mf = | | 6.70 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.2. Curva granulométrica gravilla.



Fuente: Elaboración propia.

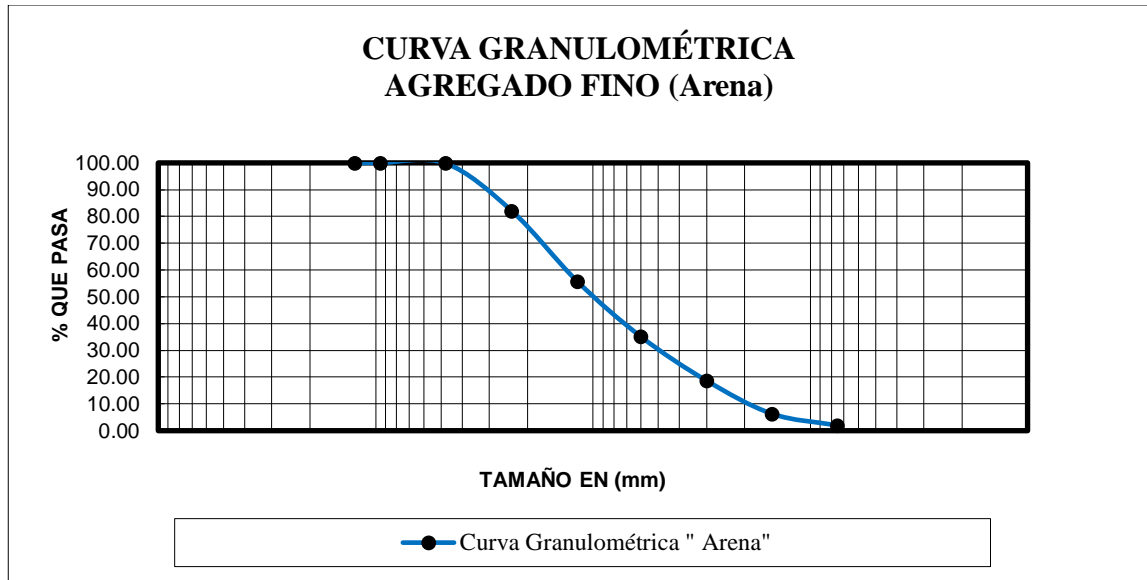
3.6.1.3. Granulometría del agregado fino (arena).

Tabla N° 3.5. Granulometría de la arena.

| Peso Total (gr.) | 5000 | | | | |
|------------------|-------------|-------------|-----------|--------|----------------------|
| Tamices | Tamaño (mm) | Peso Ret. | Ret. Acum | % Ret | % que pasa del total |
| 1/2 | 12.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8 | 9.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| N°4 | 4.75 | 9.50 | 9.50 | 0.19 | 99.81 |
| N°8 | 2.36 | 888.00 | 897.50 | 17.95 | 82.05 |
| N°16 | 1.18 | 1314.50 | 2212.00 | 44.24 | 55.76 |
| N°30 | 0.60 | 1035.50 | 3247.50 | 64.95 | 35.05 |
| N°50 | 0.30 | 818.00 | 4065.50 | 81.31 | 18.69 |
| N°100 | 0.15 | 617.75 | 4683.25 | 93.67 | 6.34 |
| N°200 | 0.07 | 218.50 | 4901.75 | 98.04 | 1.96 |
| BASE | - | 98.25 | 5000.00 | 100.00 | 0.00 |
| Suma | | 5000.00 | | | |
| Pérdidas | | 0.00 | | | |
| Mf = | | 4.00 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.3. Curva granulométrica agregado fino (arena)



Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.4. Granulometría formada.

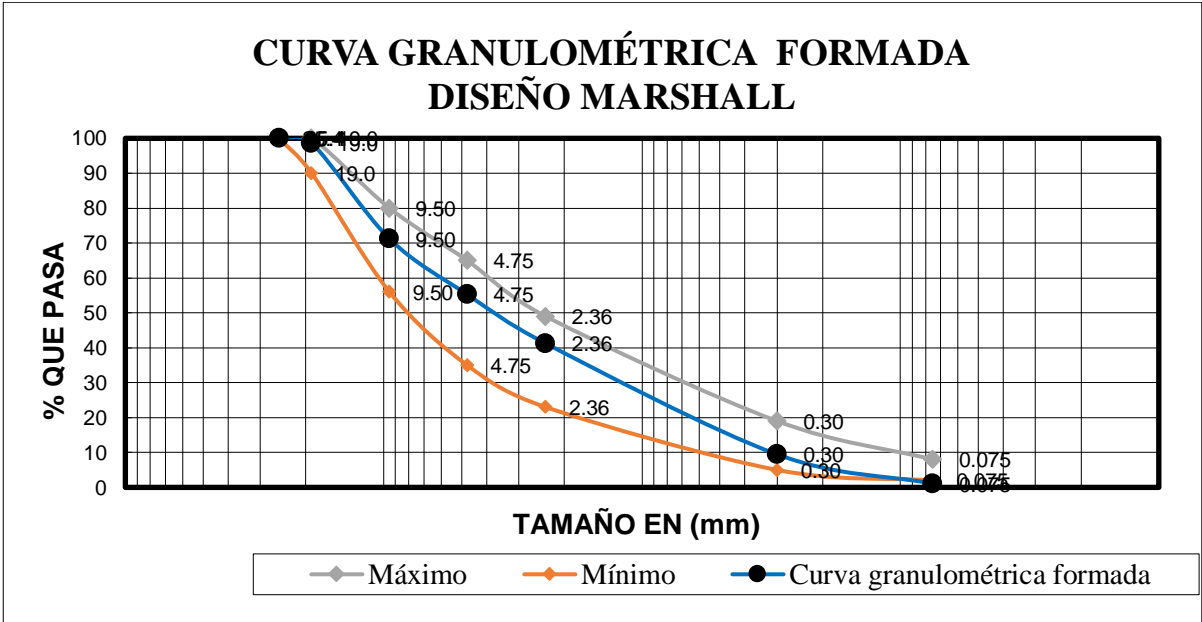
Tabla N° 3.6. Granulometría formada de la grava, gravilla y arena.

| Tamices | | Grava | Gravilla | Arena | Grava | Gravilla | Arena | Total | | | | Especificaciones | | |
|---------|-------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|--------|-----------|-----------|-------|----------------------|------------------|--------|--|
| | | Peso Ret. | Peso Ret. | Peso Ret. | al | al | al | Peso Ret. | Ret. Acum | % Ret | % que pasa del total | Mínimo | Máximo | |
| pulg | (mm) | a 5000 gr | a 5000 gr | a 5000 gr | 0.30 | 0.20 | 0.50 | 1.00 | | | | | | |
| 1" | 25.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100 | 100 | |
| 3/4" | 19.00 | 228.60 | 0.00 | 0.00 | 68.58 | 0.00 | 0.00 | 68.58 | 68.58 | 1.37 | 98.63 | 90 | 100 | |
| 1/2" | 12.50 | 3561.30 | 0.00 | 0.00 | 1068.39 | 0.00 | 0.00 | 1068.39 | 1136.97 | 22.74 | 77.26 | - | - | |
| 3/8" | 9.50 | 973.60 | 50.40 | 0.00 | 292.08 | 10.08 | 0.00 | 302.16 | 1439.13 | 28.78 | 71.22 | 56 | 80 | |
| N°4 | 4.75 | 236.30 | 3606.80 | 9.50 | 70.89 | 721.36 | 4.75 | 797.00 | 2236.13 | 44.72 | 55.28 | 35 | 65 | |
| N°8 | 2.36 | 0.00 | 1291.70 | 888.00 | 0.00 | 258.34 | 444.00 | 702.34 | 2938.47 | 58.77 | 41.23 | 23 | 49 | |
| N°16 | 1.18 | 0.00 | 24.20 | 1314.50 | 0.00 | 4.84 | 657.25 | 662.09 | 3600.56 | 72.01 | 27.99 | - | - | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------------|---|----|
| N°30 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 1035.50 | 0.00 | 0.00 | 517.75 | 517.75 | 4118.31 | 82.37 | 17.63 | - | - |
| N°50 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 818.00 | 0.00 | 0.00 | 409.00 | 409.00 | 4527.31 | 90.55 | 9.45 | 5 | 19 |
| N°100 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 617.75 | 0.00 | 0.00 | 308.88 | 308.88 | 4836.19 | 96.72 | 3.28 | - | - |
| N°200 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 218.50 | 0.00 | 0.00 | 109.25 | 109.25 | 4945.44 | 98.91 | 1.09 | 2 | 8 |
| BASE | - | 0.00 | 26.90 | 98.25 | 0.00 | 5.38 | 49.13 | 54.51 | 4999.94 | 100.00 | 0.00 | - | - |
| Suma | | 4999.8 | 5000.00 | 5000.00 | 1499.94 | 1000.00 | 2500.00 | 4999.90 | | | | | |
| Pérdidas | | 0.20 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.4. Curva granulométrica formada



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Determinar el peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM E-127 AASHTO T85-91)

3.6.2.1. Peso específico - agregado grueso grava $\frac{3}{4}$

Tabla N° 3.7. Peso específico grava.

| Muestra N° | Peso muestra secada "A" (gr) | Peso muestra saturada con sup. seca "b" (gr) | Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr) | Peso específico a granel (gr/cm3) | Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm3) | Peso específico aparente (gr/cm3) | % De absorción |
|-----------------|------------------------------|--|--|-----------------------------------|---|-----------------------------------|----------------|
| 1 | 2981.30 | 3000.00 | 1875.00 | 2.65 | 2.67 | 2.69 | 0.63 |
| 2 | 2998.80 | 3000.00 | 1876.00 | 2.67 | 2.67 | 2.67 | 0.04 |
| 3 | 2968.52 | 3000.00 | 1874.00 | 2.64 | 2.66 | 2.71 | 1.06 |
| Promedio | | | | 2.65 | 2.67 | 2.69 | 0.58 |

Fuente: Elaboración propia.

(B-C) = Este término es la pérdida de peso de la muestra sumergida y significa por lo tanto el volumen de agua desplazado o sea el volumen de la muestra.

3.6.2.2. Peso específico del agregado grueso (gravilla).

Tabla N° 3.8. Peso específico gravilla.

| Muestra N° | Peso muestra secada "A" (gr) | Peso muestra saturada con sup. seca "b" (gr) | Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr) | Peso específico a granel (gr/cm3) | Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm3) | Peso específico aparente (gr/cm3) | % De absorción |
|-----------------|------------------------------|--|--|-----------------------------------|---|-----------------------------------|----------------|
| 1 | 2955.10 | 3000.00 | 1857.00 | 2.59 | 2.62 | 2.69 | 1.52 |
| 2 | 2949.60 | 3000.00 | 1856.00 | 2.58 | 2.62 | 2.70 | 1.71 |
| 3 | 2942.80 | 3000.00 | 1874.00 | 2.61 | 2.66 | 2.75 | 1.94 |
| Promedio | | | | 2.59 | 2.64 | 2.71 | 1.72 |

Fuente: Elaboración propia.

(B-C) = Este término es la pérdida de peso de la muestra sumergida y significa por lo tanto el volumen de agua desplazado o sea el volumen de la muestra.

3.6.2.3. Peso específico del agregado fino (arena).

Tabla N° 3.9. Peso específico agregado fino (arena).

| Muestra N° | Peso muestra secada "A" (gr) | Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr) | Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr) | Peso específico a granel (gr/cm3) | Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm3) | Peso específico aparente (gr/cm3) | % De absorción | P. E. saturado con sup. seca (gr/cm3) | P. E. aparente (gr/cm3) | % De absorción |
|-----------------|------------------------------|--|--|-----------------------------------|---|-----------------------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 1 | 500 | 195.3 | 991.1 | 295.80 | 473.10 | 500.00 | 2.32 | 2.45 | 2.67 | 5.38 |
| 2 | 500 | 190.7 | 990 | 299.30 | 480.60 | 500.00 | 2.39 | 2.49 | 2.65 | 3.88 |
| 3 | 500 | 196.5 | 992.2 | 295.70 | 477.35 | 500.00 | 2.34 | 2.45 | 2.63 | 4.53 |
| Promedio | | | | | | | 2.35 | 2.46 | 2.65 | 4.60 |

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99).

3.6.3.1. Desgaste de los ángeles de la grava.

Tabla N° 3.10. Cantidad de material a emplear.

| Graduación | | A | B | C | D |
|--------------------|----------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Diámetro | | Cantidad de material a emplear (gr) | | | |
| pasa | retenido | | | | |
| 1 1/2" | 1" | 1250±25 | | | |
| 1" | 3/4" | 1250±25 | | | |
| 3/4" | 1/2" | 1250±10 | 2500±10 | | |
| 1/2" | 3/8" | 1250±10 | 2500±10 | | |
| 3/8" | 1/4" | | | 2500±10 | |
| 1/4" | N°4 | | | 2500±10 | |
| N°4 | N°8 | | | | 5000±10 |
| Peso total | | 5000±10 | 5000±10 | 5000±10 | 5000±10 |
| Numero de esferas | | 12 | 11 | 8 | 6 |
| N°de revoluciones | | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Tiempo de rotación | | 15 | 15 | 15 | 15 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.11. Graduación desgaste de los ángeles.

| Datos de laboratorio | | |
|----------------------|----------------|---------------|
| Graduación B | | |
| Pasa tamiz | Retenido tamiz | Peso retenido |
| 3/4" | 1/2" | 2500 |
| 1/2" | 3/8" | 2500 |

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{INICIAL} - P_{FINAL}}{P_{INICIAL}} * 100$$

Tabla N° 3.12. Resultados de desgaste de los ángeles.

| Gradación | Peso inicial | Peso final | % de desgaste | Especificación ASTM |
|-----------|--------------|------------|---------------|---------------------|
| B | 5000 | 3731.9 | 25.36 | 35% MAX |

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.2. Desgaste de los ángeles de la gravilla.

Tabla N° 3.13. Requerimiento según el tamaño de material que se tiene.

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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.14. Graduación desgaste de los ángeles.

| Datos de laboratorio | | |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------|
| Gradación C | | |
| Pasa tamiz | Retenido tamiz | Peso retenido |
| 3/8" | 1/4" | 2500 |
| 1/4" | N°4 | 2500 |

Fuente: Elaboración propia.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{INICIAL} - P_{FINAL}}{P_{INICIAL}} * 100$$

Tabla N° 3.15: Resultados de desgaste de los ángeles.

| Gradación | Peso inicial | Peso final | % de desgaste | Especificación ASTM |
|------------------|---------------------|-------------------|----------------------|----------------------------|
| C | 5000.00 | 3677.5 | 26.45 | 35% MAX |

Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176-00).

3.6.4.1. Equivalente de arena.

Tabla N° 3.16: Resultados de equivalente de la arena.

| N° de Muestra | H1 | H2 | Equivalente de Arena (%) |
|---------------|-------|-----------------|--------------------------|
| | (cm) | (cm) | |
| 1 | 9.90 | 13.00 | 76.15 |
| 2 | 10.15 | 13.10 | 77.48 |
| 3 | 9.40 | 12.20 | 77.05 |
| | | Promedio | 76.89 |

Fuente: Elaboración propia.

$$E. A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

Tabla N° 3.17: Equivalente de la arena.

| Equivalente de Arena (%) | NORMA |
|--------------------------|-------|
| 76.89 | > 50% |

Fuente: Elaboración propia.

3.6.5. Resultados de caracterización de los agregados pétreos.

Tabla N° 3.18. Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados.

| Ensayos | Unidad | Resultado | Especificaciones | Norma |
|--|-----------------------|-----------|------------------|-----------------------------------|
| Equivalente de arena | (%) | 76.89 | > 50% | ASTM D- 2419 AASHTO T176-00 |
| Peso específico del agregado grueso (grava) | (gr/cm ³) | 2.69 | - | ASTM D-127 AASHTO T85-91 |
| Peso específico y del agregado grueso (gravilla) | (gr/cm ³) | 2.71 | - | ASTM D-127 AASHTO T85-91 |
| Peso específico y del agregado fino | (gr/cm ³) | 2.65 | - | ASTM D-128 AASHTO T84-00 |
| Máquina de los ángeles (grava) | (%) | 25.36% | 35% MAX | ASTM C-131 AASHTO T96-99 |
| Máquina de los ángeles (gravilla) | (%) | 26.45% | 35% MAX | ASTM C-131 AASHTO T96-99 |

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Caracterización del cemento asfáltico 85-100 betunel.

Para la caracterización del cemento asfáltico se procedió a realizar los ensayos según la norma de ensayos de asfaltos para la verificación que cumpla según la ficha técnica. Para

un mejor detalle de los cálculos y procedimiento de cada ensayo de caracterización del cemento asfáltico ver los anexos 2 y 5 cemento asfáltico.

3.7.1. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico convencional 85-100.

Tabla N° 3.19. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico convencional.

| Ensayo | Unidad | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Promedio | Específico | |
|--|------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|-------|
| | | | | | | Mín. | Máx. |
| Peso Picnómetro | gr. | 36.10 | 33.10 | 32.20 | | | |
| Peso Picnómetro + Agua (25°C) | gr. | 86.69 | 83.28 | 76.50 | | | |
| Peso Picnómetro + Muestra | gr. | 66.71 | 62.75 | 61.22 | | | |
| Peso Picnómetro + Agua + Muestra | gr. | 86.80 | 83.32 | 76.91 | | | |
| Peso Específico | gr./cm ³ | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.05 |
| Punto de Inflamación AASHTO T-48 | °C | >279.00 | >295.00 | >280.00 | 285 | >232.00 | - |
| Punto de ablandamiento | °C | 42.00 | 48.00 | 42.00 | 46.00 | 41.00 | 53.00 |
| Ductilidad a 25°C AASHTO T-51 | cm. | 118.00 | 107.00 | 114.00 | 113.00 | >100.00 | |
| Penetración n a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49 | Lectura N°1 | | 98.00 | 95.00 | 100.00 | | |
| | Lectura N°2 | | 98.00 | 102.00 | 99.00 | | |
| | Lectura N°3 | | 97.00 | 99.00 | 98.00 | | |
| | Promedio | mm. | 97.00 | 99.00 | 98.00 | 97.00 | 85.00 |

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Ensayos de caracterización a la fibra de vidrio.

3.8.1. Ensayo para determinar el peso específico a granel de la fibra vidrio con referencia a (ASTM E-128 AASHTO T84-00).

Objeto:

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico a granel del material.

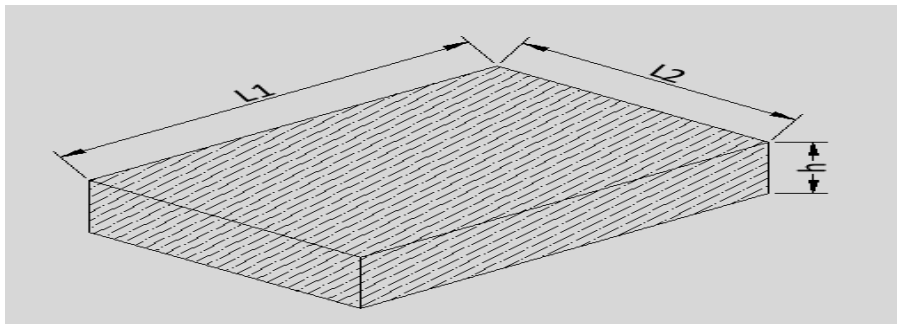
Equipos de laboratorio:

- Balanza: De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 0.1 g.
- Recipientes: Limpios, de material resistente de capacidad suficiente para contener la muestra del ensayo.
- Vernier: instrumento de alta precisión, que se utilizara para medir la fibra de vidrio.

Procedimiento:

- Cortar el material en una figura conocida para luego medir sus lados y altura del material para obtener el volumen del material. (V)

Figura N° 3.9. Medidas de figura conocida.



Fuente: Elaboración propia.

- Se procede a pesar. (W)

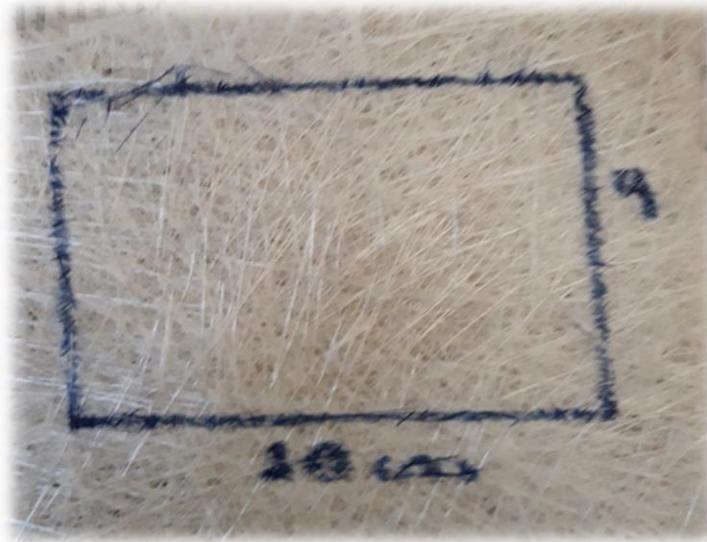
$$\text{Peso específico a granel} = \frac{w}{V}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{w}{L1 * L2 * h}$$

Representación gráfica:

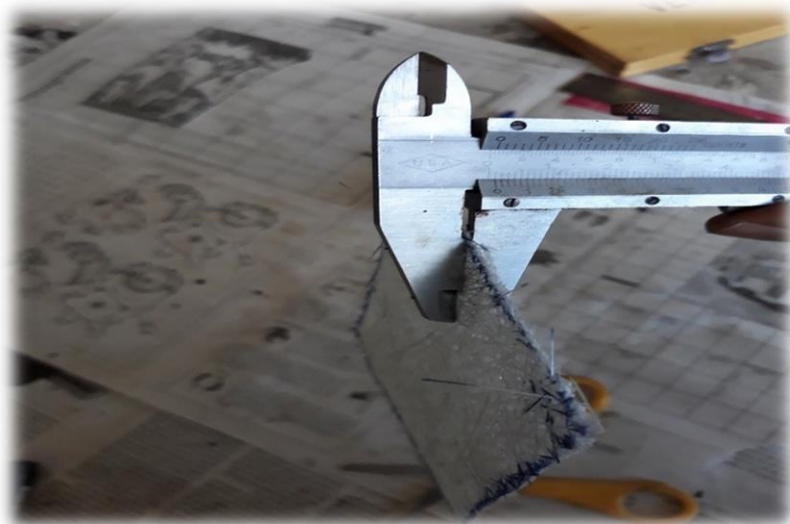
Método para determinar el peso específico a granel de la fibra vidrio.

Figura N° 3.10. Medidas del material fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.11. Lectura de medida de la altura de fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.12. Peso de la fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Datos.

L1= 9 cm ; L2= 10 cm ; h = 0.1 cm ; W= 3.9 gr

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{w}{V}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{w}{L1 * L2 * h}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{3.9\text{gr}}{9\text{cm} * 10\text{cm} * 0.1\text{cm}} = 0.43\text{gr/cm}^3$$

3.8.2. Ensayó de película delgada en fibra de vidrio con referencia a (ASTM D1757 AASHTO T179-05).

Objeto:

Este ensayo describe un ensaye para determinar el efecto de calor y aire sobre un material.

Equipos de laboratorio:

- Horno: Se utilizó un horno eléctrico que cumplía con los requerimientos de la norma ASTM E 145 de hornos tipo IB, para operarlos a temperaturas mayores a 180 °C.
- Construcción. Horno debe ser rectangular con dimensiones interiores (incluyendo el espacio ocupado por los elementos de calor) no menores que 330 mm en cada dirección. Tendrá el frente una puerta herméticamente ajustada con bisagra la cual debe permitir una visión completa del interior.
- Plato giratorio: el horno debe de estar provisto de un platillo metálico circular de diámetro interior de 250mm, con superficie lisa para no obstaculizar el aire que circule en el interior.
- termómetro: un termómetro ASTM.

Procedimiento:

- Poner en funcionamiento el horno eléctrico hasta que esté a la temperatura deseada.
- Pesar los platos metálicos y luego el material.
- Proceder a poner nuestras muestras al horno por un tiempo determinado.
- Observar en el interior del horno el material para ver si cambio o no.

Representación gráfica:

Método para determinar el efecto de calor y aire sobre un material.

Figura N° 3.13. Material fibra vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.14. Material fibra de vidrio en horno giratorio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.15. Fibra de vidrio en interior del horno vista desde el vidrio transparente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.16. Fibra de vidrio a una temperatura de 162 °C por un tiempo de 4 horas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.17. Material fibra de vidrio en horno más grande la capacidad de temperaturas más altas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.18. Fibra de vidrio a una temperatura de 200 °C por un tiempo de 4 horas.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Tabla N° 3.20. Pesos antes de poner al horno por un tiempo de 4 horas.

| Muestras | 1 | 2 | 3 |
|-------------------------|------|------|------|
| Peso de recipiente (gr) | 60.2 | 62.8 | 65.5 |
| Peso de muestra (gr) | 5.3 | 5.4 | 5.4 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.21. Pesos después de poner al horno por un tiempo de 4 horas.

| Muestras | 1 | 2 | 3 |
|---|------|------|------|
| Peso de recipiente (gr) + peso de la muestra (gr) | 65.8 | 68.1 | 70.8 |
| Peso de recipiente (gr) | 60.2 | 62.8 | 65.5 |
| Peso de muestra (gr) | 5.3 | 5.4 | 5.4 |

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones.

- La muestra no reduce su peso se mantiene.
- La muestra al sacarla del horno por un tiempo de 4 horas no cambio en nada se mantuvo en su forma normal.
- Al someterla a 162 °C y 200 °C su forma y consistencia no cambian.

3.8.3. Ensayó de resistencia a la temperatura en fibra de vidrio utilizando el horno de ignición con referencia a (ASTM D1757 AASHTO T179-05).

Objeto:

Este ensayo describe un ensaye para determinar el efecto de calor con relación a temperaturas extremas mediante el equipo de horno de ignición. Este equipo alcanza temperaturas mayores de 500 ° C.

Equipos de laboratorio:

- **Horno:** Se utilizó un horno eléctrico que cumpla con los requerimientos el horno a ignición.
- **Plato:** Este material debe ser resistente si es posible metálico.
- **Termómetro:** Un termómetro ASTM.

Procedimiento:

- Poner en funcionamiento el horno de ignición hasta que esté a la temperatura deseada.
- Pesar los platos metálicos y luego el material.
- Proceder a poner nuestras muestras al horno por un tiempo determinado de 15 minutos.
- Observar que ocurre durante los quince minutos que está el material en el interior del horno.

Representación gráfica:

Ensayó de resistencia a la temperatura en fibra de vidrio utilizando el horno de ignición.

Figura N° 3.19. Horno de ignición.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.20. Material de fibra de vidrio dentro del horno de ignición.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Tabla N° 3.22. Pesos antes de poner al horno por un tiempo de 15 minutos.

| Muestras | 1 |
|-------------------------|----------|
| Peso de recipiente (gr) | 114.4 |
| Peso de muestra (gr) | 16.1 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.23. Pesos después de poner al horno por un tiempo de 15 minutos.

| Muestras | 1 |
|---|----------|
| Peso de recipiente (gr) + peso de la muestra (gr) | 130.5 |
| Peso del recipiente (gr) | 114.4 |
| Peso de la muestra (gr) | 16.1 |

Fuente: Elaboración propia.

- La muestra no reduce su peso se mantiene.
- La muestra al sacarla del horno de ignición por un tiempo de 15 minutos a una temperatura de 500 °C se puede evidenciar que su textura su forma y consistencia no cambian al igual que su peso se mantiene.

3.8.4. Resultados de ensayos de caracterización de la fibra de vidrio.

Tabla N° 3.24. Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados.

| Ensayos | Unidad | Resultado |
|--|-----------------------|--|
| Peso específico a granel (fibra de vidrio) | (gr/cm ³) | 0.43 |
| Película delgada (fibra de vidrio) | | <ul style="list-style-type: none"> - La muestra no reduce su peso se mantiene. - La muestra al sacarla del horno por un tiempo de 4 horas no cambio en nada se mantuvo en su forma normal. - Al someterla a 162 °C y 200 °C su forma y consistencia no cambian. |
| Ensayó de resistencia a la temperatura en fibra de vidrio utilizando el horno de ignición | | <ul style="list-style-type: none"> - La muestra no reduce su peso se mantiene. - La muestra al sacarla del horno de ignición por un tiempo de 15 minutos a una temperatura de 500 °C se puede evidenciar que su textura su forma y consistencia no cambian al igual que su peso se mantiene. |

Fuente: Elaboración propia.

3.9. Mezcla de agregados.

La mezcla de los agregados estará compuesta por el 25 % de agregado grueso de 3/4", 32 % de gravilla de 3/8" y 43 % de agregado fino para la granulometría de la mezcla.

En la siguiente tabla se presenta los pesos retenidos en el tamiz de los agregados grueso y fino.

Tabla N° 3.25. Planilla de granulometría proyectada.

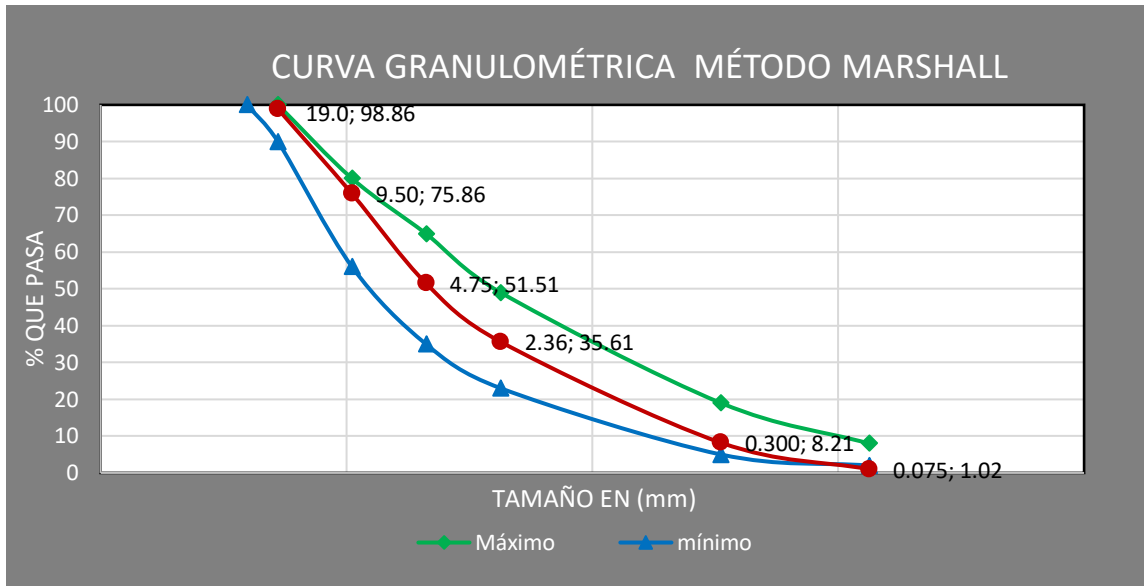
| | | | | | Dosificación | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------|---------|-----------------------|-----------|--------|----------------------|--------|--------|
| Tamices | tamaño (mm) | Grava * | Gravilla * | Arena * | Grava | Gravilla | Arena | Curva de dosificación | | | Especificaciones | | |
| | | Peso Ret. (gr) | Peso Ret. (gr) | Peso Ret. (gr) | (%) | (%) | (%) | Peso Ret. | Ret. Acum | % Ret | % que pasa del total | Mínimo | Máximo |
| | | 25.00 | 32.00 | 43.00 | 100.00 | | | | | | | | |
| 1" | 25.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100 | 100 |
| 3/4" | 19.0 | 228.80 | 0.00 | 0.00 | 57.20 | 0.00 | 0.00 | 57.20 | 57.20 | 1.14 | 98.86 | 90 | 100 |
| 1/2" | 12.5 | 3561.30 | 0.00 | 0.00 | 890.33 | 0.00 | 0.00 | 890.33 | 947.53 | 18.95 | 81.05 | - | - |
| 3/8" | 9.50 | 973.60 | 50.40 | 0.00 | 243.40 | 16.13 | 0.00 | 259.53 | 1207.05 | 24.14 | 75.86 | 56 | 80 |
| N°4 | 4.75 | 236.30 | 3606.80 | 9.50 | 59.08 | 1154.18 | 4.09 | 1217.34 | 2424.39 | 48.49 | 51.51 | 35 | 65 |
| N°8 | 2.36 | 0.00 | 1291.70 | 888.00 | 0.00 | 413.34 | 381.84 | 795.18 | 3219.57 | 64.39 | 35.61 | 23 | 49 |
| N°16 | 1.18 | 0.00 | 24.20 | 1314.50 | 0.00 | 7.74 | 565.24 | 572.98 | 3792.55 | 75.85 | 24.15 | - | - |
| N°30 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 1035.50 | 0.00 | 0.00 | 445.27 | 445.27 | 4237.82 | 84.76 | 15.24 | - | - |
| N°50 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 818.00 | 0.00 | 0.00 | 351.74 | 351.74 | 4589.56 | 91.79 | 8.21 | 5 | 19 |
| N°100 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 617.75 | 0.00 | 0.00 | 265.63 | 265.63 | 4855.19 | 97.10 | 2.90 | - | - |
| N°200 | 0.075 | 0.00 | 0.00 | 218.50 | 0.00 | 0.00 | 93.96 | 93.96 | 4949.14 | 98.98 | 1.02 | 2 | 8 |
| BASE | - | 0.00 | 26.90 | 98.25 | 0.00 | 8.61 | 42.25 | 50.86 | 5000.00 | 100.00 | 0.00 | - | - |
| PESO TOTAL | | 5000.00 | 5000.00 | 5000.00 | 1250.00 | 1600.00 | 2150.00 | 5000.00 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

(*) = Pesos retenidos que se obtienen de las curvas granulométricas de cada tipo de agregado, referidas a un peso total de 5.000 gramos.

3.9.1. Curva de diseño granulométrico - método Marshall (ASTM D 3515).

Gráfico N° 3.5. Curva granulométrica formada ASTM 3515



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.26. Especificaciones de la granulometría proyectada

| Tamices | | Especificaciones ASTM D3515 | |
|---------|-------|-----------------------------|--------|
| pulg | (mm) | Mínimo | Máximo |
| 1" | 24.40 | 100.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 | 90.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 | - | - |
| 3/8" | 9.50 | 56.00 | 80.00 |
| N°4 | 4.75 | 35.00 | 65.00 |
| N°8 | 2.36 | 23.00 | 49.00 |
| N°16 | 1.18 | - | - |
| N°30 | 0.60 | - | - |
| N°50 | 0.30 | 5.00 | 19.00 |
| N°100 | 0.15 | - | - |
| N°200 | 0.08 | 2.00 | 8.00 |
| BASE | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el diseño granulométrico ASTM 3515 porque es el método que más se acomoda a nuestro agregado.

3.10. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.

Para obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico se realizará 18 briquetas para el cemento mediante el método Marshall con diferentes porcentajes de cemento asfáltico para determinar el contenido óptimo a utilizar.

Los porcentajes de asfalto que se utilizaron en la elaboración de las briquetas son los siguientes: 4,5 %; 5 %; 5,5 %; 6 %; 6,5 %; 7 %. Se hará 3 briquetas para cada porcentaje.

Tabla N° 3.27. Dosificación con el cemento asfáltico.

| Material | 4.5% | 5.0% | 5.5% | 6.0% | 6.5% | 7.0% |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Porcentaje de Agregado (%) | 95.50% | 95.00% | 94.50% | 94.00% | 93.50% | 93.00% |
| Peso del Cemento Asfáltico (gr) * | 54.00 | 60.00 | 66.00 | 72.00 | 78.00 | 84.00 |
| Peso de Grava (gr) * | 286.50 | 285.00 | 283.50 | 282.00 | 280.50 | 279.00 |
| Peso de Gravilla (gr) * | 366.72 | 366.72 | 362.88 | 360.96 | 359.04 | 357.12 |
| Peso de Arena (gr) * | 492.78 | 492.78 | 487.62 | 485.04 | 482.46 | 479.88 |
| Peso total de la briketa (gr) * | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 |

Fuente: Elaboración propia.

3.10.1. Desarrollo de las briquetas

Equipo:

- Bandejas metálicas.
- Balanza A \pm 0,1 gr.
- Espátula.
- Termómetro de 360°C.

- Agregados (grava, gravilla y arena).
- Cemento asfáltico convencional.
- Cocina a gas.
- Martillo de compactación.
- Moldes para las probetas.
- Extractor de probetas.

Procedimiento:

Antes de preparar la mezcla se debe limpiar y calentar los moldes a una temperatura aproximada de 100 a 150° C. también se debe pesar en una fuente los agregados de acuerdo a la dosificación indicada en la tabla 3.22 y calentar en la cocina de gas. Por otro lado, se debe calentar el asfalto a una temperatura de 120 a 140°C.

Se coloca la bandeja de los agregados en la balanza y se vierte sobre ellos el cemento asfáltico caliente de acuerdo al peso establecido en la tabla 3.22.

Figura N° 3.21. Agregado de cemento asfáltico a los agregados



Fuente: Elaboración propia.

Se lleva nuevamente la fuente con los agregados más el cemento asfáltico a la hornalla y mezclar bien hasta tener una mezcla homogénea a una temperatura de 140°C.

Figura N° 3.22. Mezcla del agregado con el cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Vaciar la mezcla al molde previamente calentado, se fija sobre la superficie de la mezcla un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre un disco. Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes para cada cara de la briqueta en la compactación proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 3 briquetas por cada porcentaje de cemento asfáltico haciendo un total de 18 briquetas.

Figura N° 3.23. Muestra compactada en ambas caras.



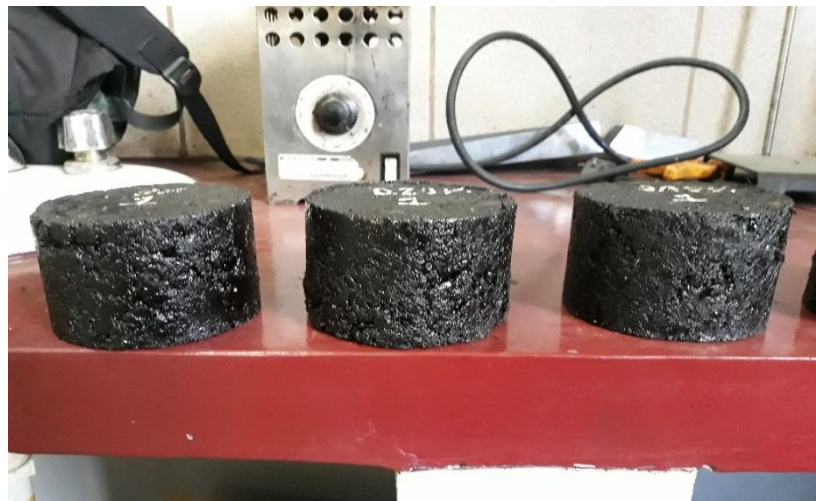
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.24. Extracción de briqueta con un gato hidráulico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.25. Briquetas desmoldadas.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las briquetas se llevaron estas a la prensa Marshall para determinar: peso específico total, análisis de la densidad, contenido de vacíos, medición de la estabilidad y fluencia.

Primero se debe medir con un vernier las alturas en cuatro puntos de la briqueta y de esta forma determinar su altura media. Posteriormente pesar las briquetas (peso seco), luego colocar las briquetas en agua a 25°C por 5 minutos y pesar después de ser saturadas, también se debe determinar el peso sumergido.

Figura N° 3.26. Medición de alturas de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.27. Baño de agua a 60° C durante 30 minutos.



Fuente: Elaboración propia

Por último, se debe sumergir las briquetas en baño de agua a 60° C durante un tiempo no inferior de 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero. Se procede a colocar la

briqueta en las mordazas y aplica la carga hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida y el número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60° C se anota como el valor de estabilidad.

Mientras se realiza el ensayo de estabilidad se mantiene el medidor de deformación (fluencia) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima, se lee y anota esta lectura como valor de fluencia de la briqueta.

Figura N° 3.28. Lectura de la estabilidad y fluencia equipo Marshall



Fuente: Elaboración propia.

3.10.2. Análisis de resultados del porcentaje óptimo.

3.10.2.1. Diseño de la mezcla de trabajo con cemento asfáltico convencional 85-100.

3.10.2.1.1 Determinación del contenido óptimo método Marshall.

Tabla N° 3.28. Pesos específicos retenidos en diferentes tamices

| Granulometría Formada | P. Específico | % agregado |
|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Mat. Retenido Tamiz N° 4 | 2.70 | 48.49 |
| Mat. Pasa Tamiz N° 4 | 2.65 | 51.51 |
| Peso Específico Total | 2.67 | 100 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.29. Método Marshall.

| | |
|--|--------|
| Tipo de cemento asfáltico: convencional | 85/100 |
| Número de golpes por cara | 75 |
| Temperatura de mezclado (°C) | 150 |
| Peso específico del ligante AASHTO T- 229 (gr/cm ³) | 1.0180 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.30. Peso específico del agregado.

| Agregado | P.E. | % |
|-----------------|-------------|----------|
| Grava | 2.69 | 25 |
| Gravilla | 2.71 | 32 |
| Arena | 2.65 | 43 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.31: Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico.

| N° de probeta | % de Asfalto | | Altura promedio de probeta | Peso Briqueta | | | Volumen | Densidad Briqueta | | | % de Vacíos | | | Estabilidad Marshall | | | | | Fluencia | | |
|------------------|--------------|----------------|----------------------------|---------------|----------------|-------------------|---------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|-----------------|----------------------|------------------|--------|----------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| | Base Mezcla | Base Agregados | | Seco | Sat. Sup. Seca | Sumergida en agua | | Probeta | Densidad real | Densidad promedio | Densidad máxima | % de Vacíos | V.A.M. (vacíos) | R.B.V. (relación) | Lectura del dial | Carga | Factor de corrección | Estabilidad real corregida | Estabilidad promedio | Lectura dial del flujo | Fluencia promedio |
| | % | % | | grs. | grs. | grs. | | cm ³ | grs/cm ³ | grs/cm ³ | grs/cm ³ | % | % | % | mm | libras | - | libras | libras | 0,01 pulg | 0,01 pulg |
| 1 | 4.50 | 4.71 | 6.65 | 1202.20 | 1213.70 | 680.02 | 533.70 | 2.25 | 2.26 | 2.48 | 8.89 | 18.89 | 52.96 | 790 | 2109.09 | 0.93 | 1969.47 | 1971.33 | 18 | 16.33 | |
| 2 | | | 6.68 | 1203.40 | 1214.70 | 683.1 | 531.60 | 2.26 | | | | | | 800 | 2136.02 | 0.93 | 1981.16 | | 16 | | |
| 3 | | | 6.69 | 1194.30 | 1204.30 | 679.05 | 525.30 | 2.27 | | | | | | 795 | 2122.55 | 0.93 | 1963.36 | | 15 | | |
| 4 | 5.00 | 5.26 | 6.67 | 1202.20 | 1213.70 | 689.02 | 524.70 | 2.29 | 2.30 | 2.46 | 6.66 | 17.95 | 62.92 | 812 | 2168.33 | 0.93 | 2016.55 | 2288.16 | 17 | 15.67 | |
| 5 | | | 6.68 | 1203.40 | 1214.70 | 686.05 | 528.70 | 2.28 | | | | | | 930 | 2486.08 | 0.93 | 2305.84 | | 15 | | |
| 6 | | | 6.47 | 1194.30 | 1204.30 | 692.00 | 512.30 | 2.33 | | | | | | 980 | 2620.72 | 0.97 | 2542.10 | | 15 | | |
| 7 | 5.50 | 5.82 | 6.33 | 1201.90 | 1207.60 | 691.05 | 516.60 | 2.33 | 2.32 | 2.44 | 5.01 | 17.55 | 71.46 | 988 | 2642.27 | 1.01 | 2655.48 | 2522.37 | 17 | 16.00 | |
| 8 | | | 6.32 | 1181.30 | 1187.10 | 679.05 | 508.10 | 2.33 | | | | | | 827 | 2208.72 | 1.01 | 2226.39 | | 15 | | |
| 9 | | | 6.33 | 1183.80 | 1191.40 | 679.05 | 512.40 | 2.31 | | | | | | 999 | 2671.89 | 1.01 | 2685.25 | | 16 | | |
| 10 | 6.00 | 6.38 | 6.27 | 1181.40 | 1195.00 | 685.00 | 510.00 | 2.32 | 2.33 | 2.42 | 3.78 | 17.52 | 78.44 | 907 | 2424.15 | 1.02 | 2475.06 | 2563.85 | 17 | 16.67 | |
| 11 | | | 6.21 | 1185.20 | 1189.00 | 687.05 | 502.00 | 2.36 | | | | | | 911 | 2434.92 | 1.04 | 2525.01 | | 15 | | |
| 12 | | | 6.25 | 1188.90 | 1194.20 | 681.00 | 513.20 | 2.32 | | | | | | 980 | 2620.72 | 1.03 | 2691.48 | | 18 | | |
| 13 | 6.50 | 6.95 | 6.24 | 1160.30 | 1163.50 | 665.00 | 498.50 | 2.33 | 2.32 | 2.40 | 3.35 | 18.17 | 81.59 | 915 | 2445.69 | 1.03 | 2516.62 | 2436.64 | 19 | 20.33 | |
| 14 | | | 6.30 | 1178.00 | 1191.20 | 679.00 | 512.20 | 2.30 | | | | | | 851 | 2273.35 | 1.01 | 2302.91 | | 20 | | |
| 15 | | | 6.33 | 1201.90 | 1203.70 | 690.00 | 513.70 | 2.34 | | | | | | 927 | 2478 | 1.01 | 2490.39 | | 22 | | |
| 16 | 7.00 | 7.53 | 6.16 | 1160.30 | 1163.50 | 665.00 | 498.50 | 2.33 | 2.30 | 2.38 | 3.46 | 19.27 | 82.07 | 730 | 1947.52 | 1.05 | 2050.74 | 2220.42 | 24 | 23.33 | |
| 17 | | | 6.35 | 1178.00 | 1191.20 | 668.05 | 523.20 | 2.25 | | | | | | 885 | 2364.91 | 1.00 | 2364.91 | | 26 | | |
| 18 | | | 6.30 | 1201.90 | 1203.70 | 686.05 | 517.70 | 2.32 | | | | | | 830 | 2216.80 | 1.01 | 2245.62 | | 20 | | |
| ESPECIFICACIONES | | | | mínimo | | | | | | | 3 | 13 | 75 | | | | | | 1800 | | 8 |
| | | | | máximo | | | | | | | | 5 | - | 82 | | | | | | - | |

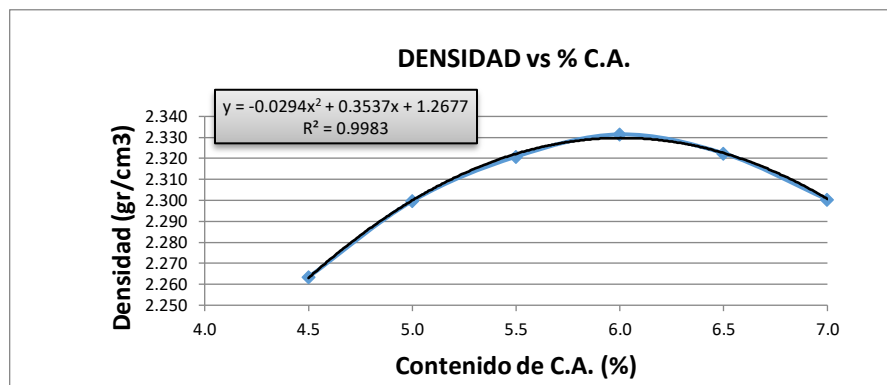
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.32. Resultados a diferentes porcentajes de cemento asfáltico

| Porcentajes de cemento asfáltico | Densidad promedio (gr/cm ³) | Estabilidad (libra) | Fluencia (pulg) | % De vacíos de mezcla total (%) | R.B.V (Relación betún vacíos) (%) | V.A.M. (Vacíos de agregado mineral) (%) |
|----------------------------------|---|---------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| 4.5 | 2.26 | 1971.33 | 16.33 | 8.89 | 52.96 | 18.89 |
| 5.0 | 2.30 | 2288.16 | 15.67 | 6.66 | 62.92 | 17.95 |
| 5.5 | 2.32 | 2522.37 | 16.00 | 5.01 | 71.46 | 17.55 |
| 6.0 | 2.33 | 2563.85 | 16.67 | 3.78 | 78.44 | 17.52 |
| 6.5 | 2.32 | 2436.64 | 20.33 | 3.78 | 78.44 | 18.17 |
| 7.0 | 2.30 | 2220.42 | 23.33 | 3.46 | 82.07 | 19.27 |

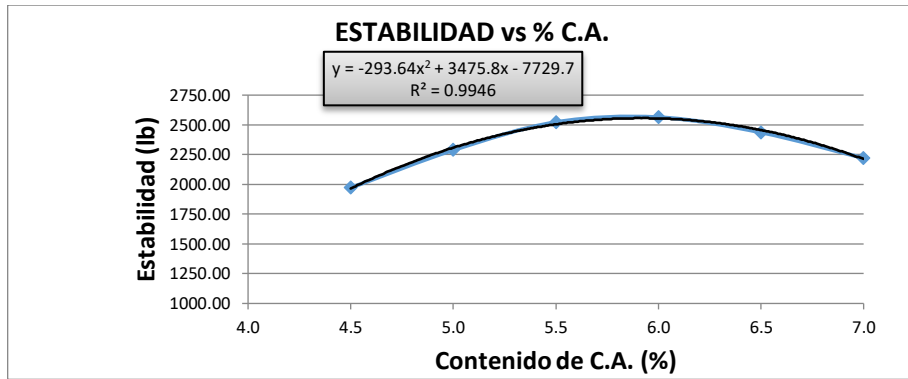
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.6. Densidad Vs. Contenido de C.A(%).



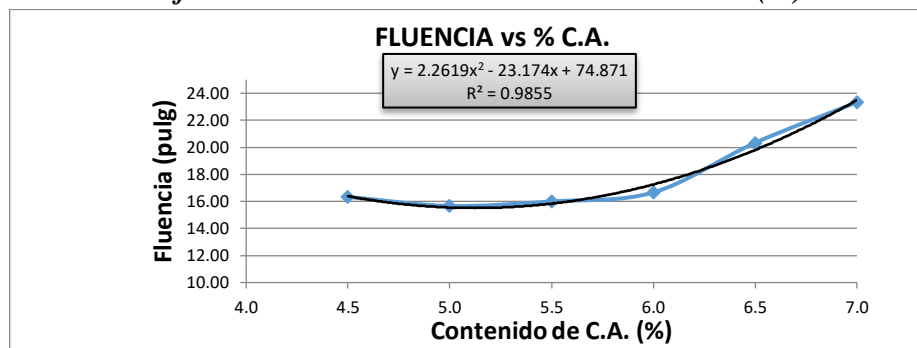
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.7: Estabilidad vs Contenido de C.A.(%).



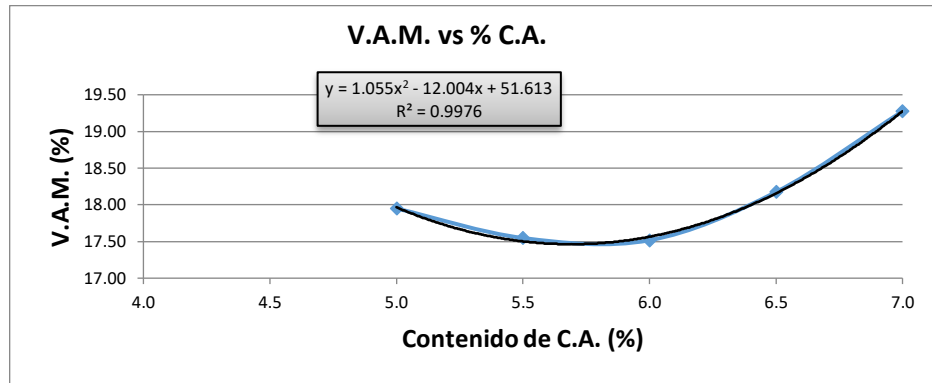
Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 3.8: Fluencia Vs. Contenido de C.A.(%).



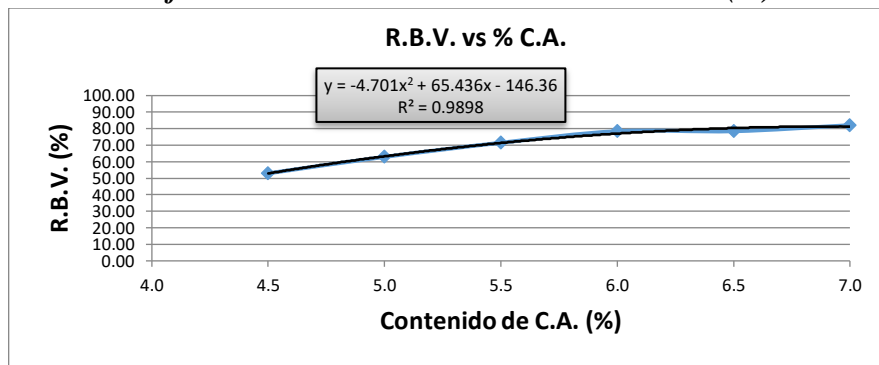
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.9. V.A.M Vs. Contenido de C.A.(%).



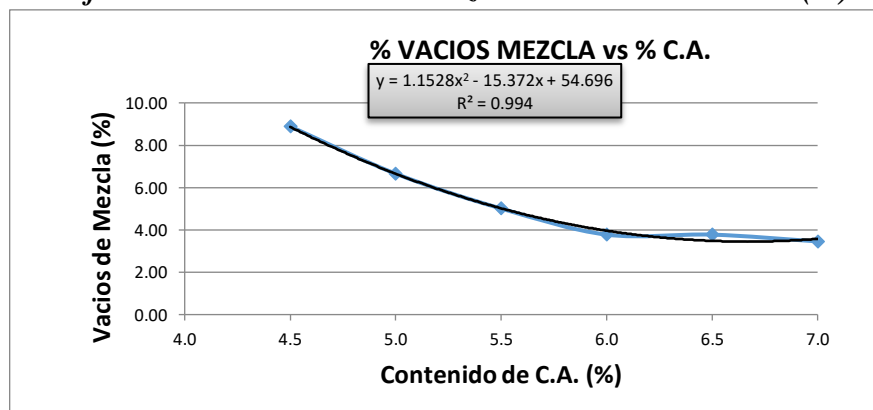
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.10: R.B.V Vs. Contenido de C.A.(%).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.11. %Vacíos de Mezcla vs Contenido de C.A.(%).



Fuente: Elaboración propia.

Máximos y mínimos de un vértice

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Condición para determinar un vértice:

$a < 0$ ocurre un máximo

$a > 0$ ocurre un mínimo

Determinación de las coordenadas de un vértice:

$$x_{\text{vértice}} = -\frac{b}{2a} \quad y_{\text{vértice}} = f(x_{\text{vértice}})$$

Estabilidad máxima

Ecuaciones en estudio:

$$y = a.x^2 + b.x - c$$

Donde:

Y máx. =Estabilidad máxima.

X máx. =Contenido de ligante para la estabilidad máxima

$$y = -293.64x^2 + 3475.8x - 7729.7$$

a =-293.64 < 0 máximo

b =3475.80

c =-7729.70

X máx. =5.92

Y máx. =2556.01

Densidad máxima

$$y = a.x^2 + b.x - c$$

Donde:

Y máx. =Densidad máxima.

X máx. =Contenido de ligante para la densidad máxima.

$$y = -0.0294x^2 + 0.3537x + 1.2677$$

a =-0.0294 < 0 máximo

b =0.3537

c =1.2677

X máx. =6.02

Y máx. =2.33

Vacíos en la mezcla

Método A:

Vacíos de la mezcla debe ser igual a 3, 4 ó 5 % según diseño, se reemplaza dicho valor en "y" para obtener el valor de la incógnita "x" (contenido de ligante a ese % de vacíos).

Ecuación original:

$$y = a.x^2 + b.x - c$$

Donde:

Y máx. =Vacíos de la mezcla mínimos.

X máx. =Contenido de ligante para los vacíos de la mezcla mínimo.

$$y = 1.1528x^2 - 15.372x + 54.696$$

a =1.1528 < 0 mínimo

b =-15.372

c =54.696

X máx. =5.98

Y máx. =4.00

Tabla N° 3.33. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

| | Ensayo | Valor de Diseño | % de C.A. |
|--|-----------------------------|-----------------|-------------|
| Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico | Estabilidad Marshall (Lb) | 2556.01 | 5.92 |
| | Densidad máxima (gr/cm3) | 2.33 | 6.02 |
| | Vacíos de la mezcla (%) | 4.00 | 5.98 |
| | % Porcentaje óptimo de C.A. | Promedio (%) = | 6.00 |

Fuente: Elaboración propia.

El % Porcentaje óptimo de C.A. es del **6%**.

3.11. Modo de empleo de la fibra de vidrio en la mezcla asfáltica.

- Primeramente, se procedió a desmenuzar el material a utilizar la fibra de vidrio para tener una mejor distribución del material y poder analizar mejor su comportamiento.
- Se agregó un porcentaje de 1% por ser una cantidad que se notaría y nos podría dar un resultado de cómo utilizar la fibra de vidrio.

Figura N° 3.29. Fibra de vidrio tipo manta y fibra de vidrio desmenuzada.



Fuente: Elaboración propia.

- Se planteó tres formas de incorporar la fibra de vidrio en la mezcla asfáltica.
 1. **Primera forma:** Se procedió a incorporar la fibra de vidrio una vez que se mezcló el agregado con el cemento asfáltico a una temperatura de 140° C. Se procedió a echar la fibra y se mezcló bastante para que la fibra de vidrio se distribuyera homogéneamente en toda la mezcla. De esta forma se hizo tres muestras para analizar mejor los datos.

Figura N° 3.30. Mezcla asfáltica con fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

2. **Segunda forma:** se procedió a agregar la fibra de vidrio y una vez mezclada la mezcla asfáltica y antes de vaciar al molde para compactar se agregó la fibra de vidrio. De esta forma se izó tres muestras para analizar mejor los datos.

Figura N° 3.31. Incorporando fibra de vidrio a la mezcla asfáltica.



Fuente: Elaboración propia.

3. **La tercera forma:** Se procedió a agregar la fibra de vidrio por capas como se puede observar en la figura N° 3.20.

Figura N° 3.32. Muestras ya pesadas.



Fuente: Elaboración propia.

- Una vez realizado de las tres formas el uso de la fibra de vidrio se obtuvieron tres briquetas de cada forma un total de 9.

Figura N° 3.33. Briquetas hechas con las tres formas de emplear la fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

- Se procedió a medir las alturas, peso seco, peso húmedo sumergido.
- Se procedió a someter a cada briqueta a Marshall para ver cuál de las tres formas de aplicar la fibra de vidrio dará mejores resultados.

Tabla N° 3.34. Pesos específicos retenidos en diferentes tamices.

| Granulometría Formada | P. Específico | % agregado |
|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Mat. Retenido Tamiz N° 4 | 2.70 | 48.49 |
| Mat. Pasa Tamiz N° 4 | 2.65 | 51.51 |
| Peso Específico Total | 2.67 | 100 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.35. Método Marshall.

| | |
|--|--------|
| Tipo de cemento asfáltico: convencional | 85/100 |
| Número de golpes por cara | 75 |
| Temperatura de mezclado (°C) | 150 |
| Peso específico del ligante AASHTO T-229 (gr/cm3) | 1.0180 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.36. Peso específico del agregado.

| Agregado | P.E. | % |
|-----------------|-------------|----------|
| Grava | 2.69 | 25 |
| Gravilla | 2.71 | 32 |
| Arena | 2.65 | 43 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.37. Planilla método Marshall mezcla asfáltica con fibra de vidrio técnicas de empleo la fibra de vidrio.

| N° de probeta | % FIBRA DE VIDRIO | | % de Asfalto | | Altura de probeta | Peso Briqueta | | | Volumen | Densidad | | | Vacíos | | | Estabilidad | | | | | Fluencia | | |
|---------------|-------------------|------|--------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|-------------------|---------|----------|---------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|---------|---|----------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| | | | Base Mezcla | Base Agregados | | Seco | Sat. Sup. Seca | Sumergida en agua | | Probeta | Densidad real | Densidad promedio | Densidad máxima teórica | % de vacíos mezcla total | V.A.M.(vacíos agregado mineral) | R.B.V. (relación betumen vacíos) | Lectura del dial | Carga | Factor de correccion de altura de probeta | Estabilidad real corregida | Estabilidad promedio | Lectura dial del flujo | Fluencia promedio |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1.00 | 6.00 | 6.38 | 6.30 | 1162.70 | 1167.20 | 672.00 | 495.20 | 2.35 | 2.32 | 2.42 | 3.84 | 17.74 | 78.38 | 710 | 1893.67 | 1.01 | 1918.28 | 2018.04 | 25 | 23.67 | | |
| 2 | | | | 6.25 | 1176.60 | 1179.10 | 675.00 | 504.10 | 2.33 | | | | | | 810 | 2162.95 | 1.03 | 2221.35 | | 22 | | | |
| 3 | | | | 6.31 | 1169.20 | 1170.10 | 660.00 | 510.10 | 2.29 | | | | | | 710 | 1893.67 | 1.01 | 1914.50 | | 24 | | | |
| 4 | 1.00 | 6.00 | 6.38 | 6.25 | 1160.00 | 1172.20 | 654.00 | 518.20 | 2.24 | 2.29 | 2.42 | 5.28 | 18.97 | 72.20 | 700 | 1866.74 | 1.03 | 1917.14 | 1888.76 | 22 | 22.33 | | |
| 5 | | | | 6.20 | 1182.90 | 1184.30 | 660.50 | 523.80 | 2.26 | | | | | | 680 | 1812.88 | 1.04 | 1885.40 | | 21 | | | |
| 6 | | | | 6.30 | 1187.40 | 1189.40 | 689.00 | 500.40 | 2.37 | | | | | | 690 | 1839.81 | 1.01 | 1863.73 | | 24 | | | |
| 7 | 1.00 | 6.00 | 6.38 | 6.15 | 1151.50 | 1169.00 | 490.00 | 679.00 | 1.70 | 1.67 | 2.42 | 30.89 | 40.89 | 24.44 | 490 | 1301.25 | 1.06 | 1374.12 | 1343.02 | 26 | 27.00 | | |
| 8 | | | | 6.25 | 1169.90 | 1174.40 | 460.00 | 714.40 | 1.64 | | | | | | 500 | 1328.18 | 1.03 | 1364.04 | | 27 | | | |
| 9 | | | | 6.30 | 1181.00 | 1183.60 | 480.00 | 703.60 | 1.68 | | | | | | 480 | 1274.32 | 1.01 | 1290.89 | | 28 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.38. Resultados aplicando de 3 formas diferentes la fibra de vidrio.

| Briquetas | Porcentajes de fibra de vidrio | Densidad promedio (gr/cm ³) | Estabilidad (libra) | Fluencia (pulg) | % de vacíos de mezcla total (%) | R.B.V. (relación betún vacíos) (%) | V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%) |
|----------------|--------------------------------|---|---------------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|---|
| Forma 1 | 1.00 | 2.325 | 2018.04 | 23.67 | 3.84 | 78.38 | 17.74 |
| Forma 2 | 1.00 | 2.290 | 1888.76 | 22.33 | 5.28 | 72.20 | 18.97 |
| Forma 3 | 1.00 | 1.671 | 1343.02 | 27.00 | 30.89 | 24.44 | 40.89 |

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados del análisis de las formas de aplicación de la fibra de vidrio la más recomendable es la forma 1 por los resultados que nos da según la tabla N°3.38.

3.12. Desarrollo de las briquetas con fibra de vidrio.

Procedimiento:

Antes de preparar la mezcla se debe limpiar y calentar los moldes a una temperatura aproximada de 100 a 150° C. también se debe pesar en una fuente los agregados de acuerdo a la dosificación indicada y calentar en la cocina de gas. Por otro lado, se debe calentar el asfalto a una temperatura de 120 a 140°C y luego vaciar al agregado.

Se pesa todos los materiales utilizados en para la mezcla asfáltica con fibra de vidrio.

Figura N° 3.34. Pesaje de agregados y la fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

Se coloca la bandeja de los agregados en la balanza y se vierte sobre ellos el cemento asfáltico caliente de acuerdo al peso establecido.

Se lleva nuevamente la fuente con los agregados más el cemento asfáltico y ahora con la incorporación de la fibra de vidrio a la hornalla, se combina bien hasta tener una mezcla homogénea a una temperatura de 140°C.

Figura N° 3.35. Mezcla del agregado más el cemento asfáltico y la fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia

Vaciar la mezcla al molde previamente calentado, se fija sobre la superficie de la mezcla un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre un disco. Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes para cada cara de la briqueta en la compactación proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 3 briquetas por cada porcentaje de cemento asfáltico haciendo un total de 18 briquetas.

Figura N° 3.36. Vaciado de la mezcla asfáltica con fibra de vidrio al molde.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.37. Compactación manual de la mezcla asfáltica con la fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.38. Total, briquetas realizadas con fibra de vidrio 36 muestras.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.39. Briquetas con más alto porcentaje de fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las briquetas se llevaron estas a la prensa Marshall para determinar: peso específico total, análisis de la densidad, contenido de vacíos, medición de la estabilidad y fluencia.

Primero se debe medir con un vernier las alturas en cuatro puntos de la briqueta y de esta forma determinar su altura media. Posteriormente pesar las briquetas (peso seco), luego colocar las briquetas en agua a 25°C por 5 minutos y pesar después de ser saturadas, también se debe determinar el peso sumergido.

Figura N° 3.40. Medición de alturas de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.41. Peso sumergido de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Por último, se debe sumergir las briquetas en baño de agua a 60° C durante un tiempo no inferior de 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero. Se procede a colocar la briqueta en las mordazas y aplica la carga hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida y el número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60° C se anota como el valor de estabilidad.

Mientras se realiza el ensayo de estabilidad se mantiene el medidor de deformación (fluencia) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima, se lee y anota esta lectura como valor de fluencia de la briqueta.

Figura N° 3.42. Briquetas listas para el equipo Marshall



Fuente: Elaboración propia.

3.13. Determinación del porcentaje óptimo de fibra de vidrio con un porcentaje de cemento asfáltico de 6.00% mediante ensayos de Marshall.

El equipo es el mismo usado para encontrar el contenido óptimo de la mezcla asfáltica. En cuanto a los materiales se le agregará fibras de vidrio a 0.0%, 0.20%, 0.40%, 0.60%, 0.80% 1.0%, 1.10%, 1.20%, 1.40%, 1.60%, 1.80%, 2.00% y 2.20% de peso del total de la briqueta de 1200 g, el porcentaje de cemento asfáltico a usar será el encontrado en el anterior cálculo de 6.00%, para la mezcla convencional corresponderá 0% de fibra de vidrio.

Tabla N° 3.39. Pesos específicos retenidos en diferentes tamices.

| Granulometría Formada | P. Específico | % agregado |
|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Mat. Retenido Tamiz N° 4 | 2.70 | 48.49 |
| Mat. Pasa Tamiz N° 4 | 2.65 | 51.51 |
| Peso Específico Total | 2.67 | 100 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.40. Método Marshall.

| | |
|--|--------|
| Tipo de cemento asfáltico: convencional | 85/100 |
| Número de golpes por cara | 75 |
| Temperatura de mezclado (°C) | 150 |
| Peso específico del ligante AASHTO T-229 (gr/cm ³) | 1.0180 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.41. Peso específico del agregado.

| Agregado | P.E. | % |
|-----------------|-------------|----------|
| Grava | 2.69 | 25 |
| Gravilla | 2.71 | 32 |
| Arena | 2.65 | 43 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.42. Dosificación con contenido de fibra de vidrio según granulometría de diseño.

| | Dosificación | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0.00% | 0.20% | 0.40% | 0.60% | 0.80% | 1.00% | 1.20% | 1.40% | 1.60% | 1.80% | 2.00% | 2.20% |
| Porcentaje de Cemento Asfáltico (%) | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% | 6.00% |
| Porcentaje de Agregado Total (%) | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% | 94.00% |
| Porcentaje de Agregado Parcial (%) | 94.00% | 93.80% | 93.60% | 93.40% | 93.20% | 93.00% | 92.80% | 92.60% | 92.40% | 92.20% | 92.00% | 91.80% |
| Peso de fibra de vidrio (gr) * | 0.000 | 2.400 | 4.800 | 7.200 | 9.600 | 12.000 | 14.400 | 16.800 | 19.200 | 21.600 | 24.000 | 26.400 |
| Peso de Cemento Asfáltico (gr) * | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 | 72.00 |
| Peso de Grava (gr) * | 282.00 | 281.40 | 280.80 | 280.20 | 279.60 | 279.00 | 278.40 | 277.80 | 277.20 | 276.60 | 276.00 | 275.40 |
| Peso de Gravilla (gr) * | 360.96 | 360.19 | 359.42 | 358.66 | 357.89 | 357.12 | 356.35 | 355.58 | 354.82 | 354.05 | 353.28 | 352.51 |
| Peso de Arena (gr) * | 485.04 | 484.01 | 482.98 | 481.94 | 480.91 | 479.88 | 478.85 | 477.82 | 476.78 | 475.75 | 474.72 | 473.69 |
| Peso total de la briqueta (gr) * | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 |

Fuente: Elaboración propia.

(*) Valores para una briqueta, que varían según los porcentajes de ligante asfáltico y agregado.

Tabla N° 3.43: Planilla método Marshall mezcla asfáltica con fibra de vidrio.

| N° de probeta | % FIBRA DE VIDRIO | % de Asfalto | | Altura de probeta | Peso Briqueta | | | Volumen | Densidad | | | Vacíos | | | Estabilidad | | | | | Fluencia | | |
|------------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|-------------------|---------|----------|---------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|-------|---|----------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| | | Base Mezcla | Base Agregados | | Seco | Sat. Sup. Seca | Sumergida en agua | | Probeta | Densidad real | Densidad promedio | Densidad máxima teorica | % de vacíos mezcla total | V.A.M.(vacíos agregado mineral) | R.R.V.(relación betumen vacíos) | Lectura del dial | Carga | Factor de corrección de altura de probeta | Estabilidad real corregida | Estabilidad promedio | Lectura dial del flujo | Fluencia promedio |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0.00 | 6.00 | 6.38 | 6.19 | 1167.20 | 1168.30 | 672.00 | 496.30 | 2.35 | 2.32 | 2.42 | 3.88 | 17.78 | 78.16 | 860 | 2297.59 | 1.04 | 2396.38 | 2334.82 | 21 | 20.33 | |
| 2 | | | | 6.33 | 1171.60 | 1173.10 | 676.00 | 497.10 | 2.36 | | | | | | 826 | 2206.03 | 1.01 | 2217.06 | | 22 | | |
| 3 | | | | 6.16 | 1169.20 | 1169.90 | 653.00 | 516.90 | 2.26 | | | | | | 850 | 2270.66 | 1.05 | 2391.00 | | 18 | | |
| 4 | 0.20 | 6.00 | 6.38 | 6.36 | 1179.00 | 1181.20 | 685.00 | 496.20 | 2.38 | 2.36 | 2.42 | 2.31 | 16.44 | 85.96 | 732 | 1952.91 | 1.00 | 1948.03 | 2073.84 | 22 | 20.67 | |
| 5 | | | | 6.44 | 1181.90 | 1184.30 | 678.50 | 505.80 | 2.34 | | | | | | 720 | 1920.59 | 0.98 | 1877.38 | | 19 | | |
| 6 | | | | 6.28 | 1189.40 | 1190.40 | 689.00 | 501.40 | 2.37 | | | | | | 880 | 2351.44 | 1.02 | 2396.12 | | 21 | | |
| 7 | 0.40 | 6.00 | 6.38 | 6.26 | 1165.50 | 1167.80 | 679.00 | 488.80 | 2.38 | 2.37 | 2.42 | 1.96 | 16.14 | 87.83 | 920 | 2459.15 | 1.02 | 2518.17 | 2444.55 | 20 | 21.00 | |
| 8 | | | | 6.31 | 1169.90 | 1174.40 | 680.00 | 494.40 | 2.37 | | | | | | 885 | 2364.91 | 1.01 | 2390.92 | | 22 | | |
| 9 | | | | 6.32 | 1181.00 | 1183.60 | 683.00 | 500.60 | 2.36 | | | | | | 900 | 2405.3 | 1.01 | 2424.54 | | 21 | | |
| 10 | 0.60 | 6.00 | 6.38 | 6.33 | 1197.00 | 1198.80 | 688.00 | 510.80 | 2.34 | 2.35 | 2.42 | 2.63 | 16.72 | 84.24 | 974 | 2604.57 | 1.01 | 2617.59 | 2694.67 | 22 | 22.00 | |
| 11 | | | | 6.23 | 1170.50 | 1172.90 | 681.00 | 491.90 | 2.38 | | | | | | 1040 | 2782.29 | 1.03 | 2871.32 | | 21 | | |
| 12 | | | | 6.31 | 1184.10 | 1187.40 | 681.00 | 506.40 | 2.34 | | | | | | 960 | 2566.87 | 1.01 | 2595.10 | | 23 | | |
| 13 | 0.80 | 6.00 | 6.38 | 6.26 | 1136.60 | 1141.90 | 649.00 | 492.90 | 2.31 | 2.31 | 2.42 | 4.37 | 18.20 | 75.99 | 930 | 2486.08 | 1.02 | 2545.75 | 2515.18 | 22 | 23.00 | |
| 14 | | | | 6.29 | 1177.00 | 1178.60 | 665.00 | 513.60 | 2.29 | | | | | | 955 | 2553.4 | 1.02 | 2594.26 | | 23 | | |
| 15 | | | | 6.42 | 1182.00 | 1183.60 | 678.00 | 505.60 | 2.34 | | | | | | 916 | 2448.38 | 0.98 | 2405.54 | | 24 | | |
| 16 | 1.00 | 6.00 | 6.38 | 6.54 | 1193.50 | 1199.50 | 665.50 | 534.00 | 2.24 | 2.24 | 2.42 | 7.22 | 20.64 | 65.01 | 713 | 1901.75 | 0.95 | 1815.03 | 1938.05 | 23 | 23.67 | |
| 17 | | | | 6.56 | 1169.80 | 1177.00 | 659.00 | 518.00 | 2.26 | | | | | | 850 | 2270.66 | 0.95 | 2158.72 | | 24 | | |
| 18 | | | | 6.59 | 1191.80 | 1199.70 | 666.50 | 533.20 | 2.24 | | | | | | 730 | 1947.52 | 0.95 | 1840.41 | | 24 | | |
| 19 | 1.20 | 6.00 | 6.38 | 6.52 | 1168.00 | 1173.80 | 648.00 | 525.80 | 2.22 | 2.19 | 2.42 | 9.28 | 22.40 | 58.56 | 657 | 1750.95 | 0.96 | 1677.58 | 1534.5 | 22 | 24.67 | |
| 20 | | | | 6.69 | 1188.30 | 1196.80 | 656.00 | 540.80 | 2.20 | | | | | | 685 | 1826.35 | 0.93 | 1689.37 | | 24 | | |
| 21 | | | | 6.74 | 1162.70 | 1175.20 | 637.00 | 538.20 | 2.16 | | | | | | 510 | 1355.11 | 0.91 | 1236.53 | | 28 | | |
| 22 | 1.40 | 6.00 | 6.38 | 6.42 | 1156.70 | 1164.10 | 638.00 | 526.10 | 2.20 | 2.17 | 2.42 | 9.91 | 22.94 | 56.80 | 430 | 1139.68 | 0.98 | 1119.74 | 1197.08 | 25 | 26.00 | |
| 23 | | | | 6.47 | 1173.30 | 1177.30 | 630.00 | 547.30 | 2.14 | | | | | | 540 | 1435.89 | 0.97 | 1392.81 | | 26 | | |
| 24 | | | | 6.70 | 1176.50 | 1184.90 | 648.00 | 536.90 | 2.19 | | | | | | 441 | 1169.3 | 0.92 | 1078.68 | | 27 | | |
| 25 | 1.60 | 6.00 | 6.38 | 6.53 | 1146.00 | 1162.50 | 634.00 | 528.50 | 2.17 | 2.17 | 2.42 | 10.04 | 23.05 | 56.44 | 422 | 1118.14 | 0.96 | 1069.28 | 1061.91 | 30 | 28.00 | |
| 26 | | | | 6.56 | 1188.90 | 1195.50 | 665.00 | 530.50 | 2.24 | | | | | | 456 | 1209.70 | 0.95 | 1150.06 | | 26 | | |
| 27 | | | | 6.83 | 1155.30 | 1161.30 | 615.00 | 546.30 | 2.11 | | | | | | 410 | 1085.83 | 0.89 | 966.39 | | 28 | | |
| 28 | 1.80 | 6.00 | 6.38 | 6.58 | 1179.10 | 1184.10 | 650.00 | 534.10 | 2.21 | 2.17 | 2.42 | 10.11 | 23.11 | 56.25 | 387 | 1023.89 | 0.95 | 969.52 | 1054.11 | 32 | 28.33 | |
| 29 | | | | 6.63 | 1167.60 | 1174.40 | 646.00 | 528.40 | 2.21 | | | | | | 409 | 1083.13 | 0.94 | 1015.55 | | 28 | | |
| 30 | | | | 6.64 | 1197.80 | 1200.90 | 631.00 | 569.90 | 2.10 | | | | | | 474 | 1258.17 | 0.94 | 1177.27 | | 25 | | |
| 31 | 2.00 | 6.00 | 6.38 | 6.63 | 1175.80 | 1180.30 | 656.00 | 524.30 | 2.24 | 2.16 | 2.42 | 10.29 | 23.26 | 55.77 | 453 | 1201.62 | 0.94 | 1126.64 | 1040.88 | 30 | 30.00 | |
| 32 | | | | 6.61 | 1191.20 | 1194.90 | 634.00 | 560.90 | 2.12 | | | | | | 368 | 972.729 | 0.94 | 915.63 | | 32 | | |
| 33 | | | | 6.61 | 1173.30 | 1178.30 | 630.00 | 548.30 | 2.14 | | | | | | 433 | 1147.76 | 0.94 | 1080.39 | | 28 | | |
| 34 | 2.20 | 6.00 | 6.38 | 6.44 | 1148.40 | 1151.20 | 637.00 | 514.20 | 2.23 | 2.17 | 2.42 | 10.18 | 23.17 | 56.06 | 424 | 1123.53 | 0.98 | 1098.25 | 1021.9 | 33 | 32.33 | |
| 35 | | | | 6.64 | 1173.10 | 1178.60 | 645.00 | 533.60 | 2.20 | | | | | | 395 | 1045.43 | 0.94 | 978.21 | | 32 | | |
| 36 | | | | 6.70 | 1144.70 | 1193.80 | 644.00 | 549.80 | 2.08 | | | | | | 405 | 1072.36 | 0.92 | 989.25 | | 32 | | |
| Especificaciones | | | | mínimo | | | | | | | | 3 | 13 | 75 | | | | | | 1800 | 8 | |
| | | | | máximo | | | | | | | | 5 | - | 82 | | | | | | - | 16 | |

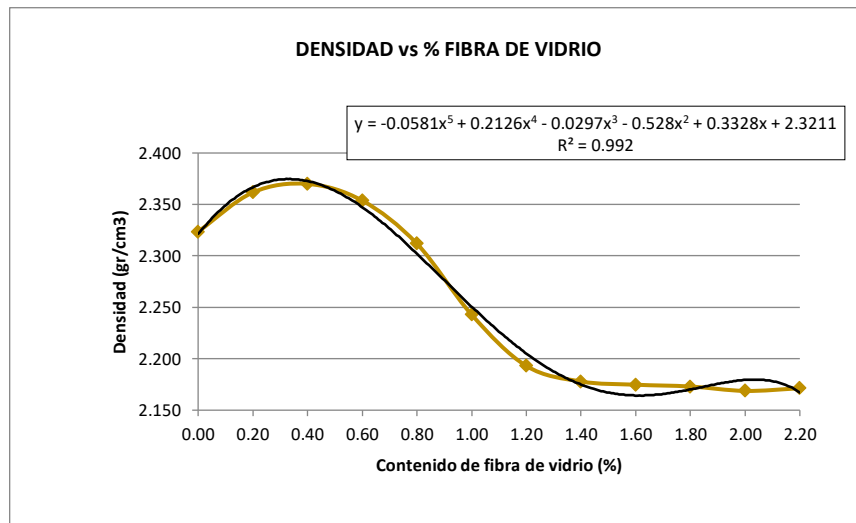
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.44. Resultados con diferentes porcentajes de fibra de vidrio.

| Porcentajes de fibra de vidrio | Densidad promedio (gr/cm ³) | Estabilidad (libra) | Fluencia (pulg) | % De vacíos de mezcla total (%) | R.B.V. (relación betún vacíos) (%) | V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%) |
|--------------------------------|---|---------------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|---|
| 0.00 | 2.32 | 2334.82 | 20.33 | 3.88 | 78.16 | 17.78 |
| 0.20 | 2.36 | 2073.84 | 20.67 | 2.31 | 85.96 | 16.44 |
| 0.40 | 2.37 | 2444.55 | 21.00 | 1.96 | 87.83 | 16.14 |
| 0.60 | 2.35 | 2694.67 | 22.00 | 2.63 | 84.24 | 16.72 |
| 0.80 | 2.31 | 2515.18 | 23.00 | 4.37 | 75.99 | 18.20 |
| 1.00 | 2.24 | 1938.05 | 23.67 | 7.22 | 65.01 | 20.64 |
| 1.20 | 2.19 | 1534.49 | 24.67 | 9.28 | 58.56 | 22.40 |
| 1.40 | 2.17 | 1197.07 | 26.00 | 9.90 | 56.80 | 22.93 |
| 1.60 | 2.17 | 1061.90 | 28.00 | 10.04 | 56.44 | 23.05 |
| 1.80 | 2.17 | 1054.11 | 28.33 | 10.11 | 56.25 | 23.11 |
| 2.00 | 2.16 | 1040.88 | 30.00 | 10.29 | 55.77 | 23.26 |
| 2.20 | 2.17 | 1021.90 | 32.33 | 10.18 | 56.06 | 23.17 |

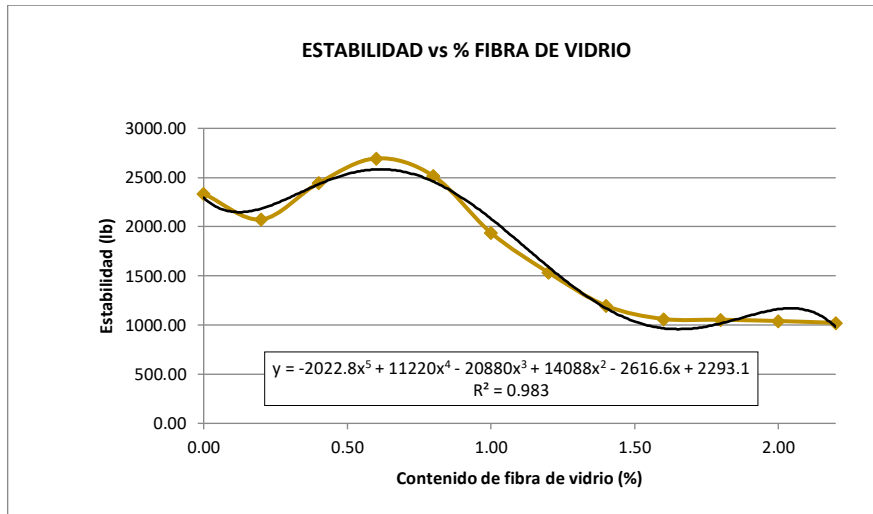
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.12. Densidad vs Contenido de fibra de vidrio (%).



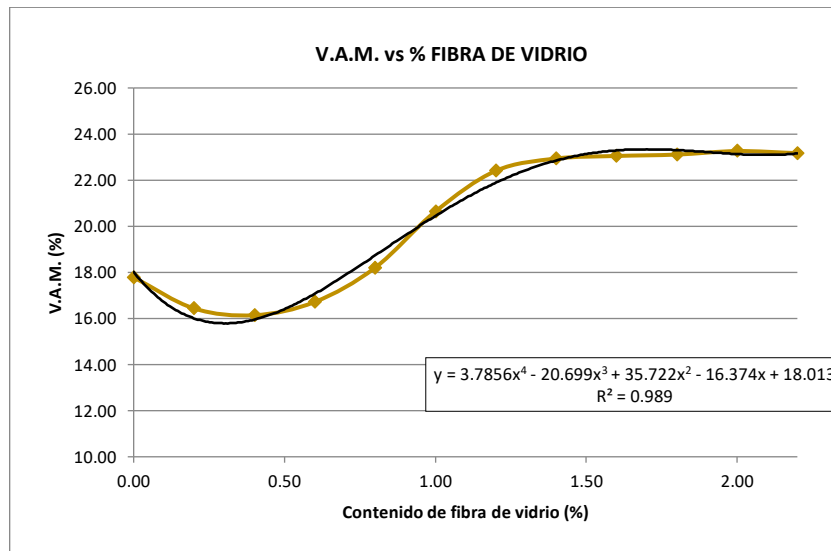
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.13. Estabilidad vs Contenido de fibra de vidrio (%).



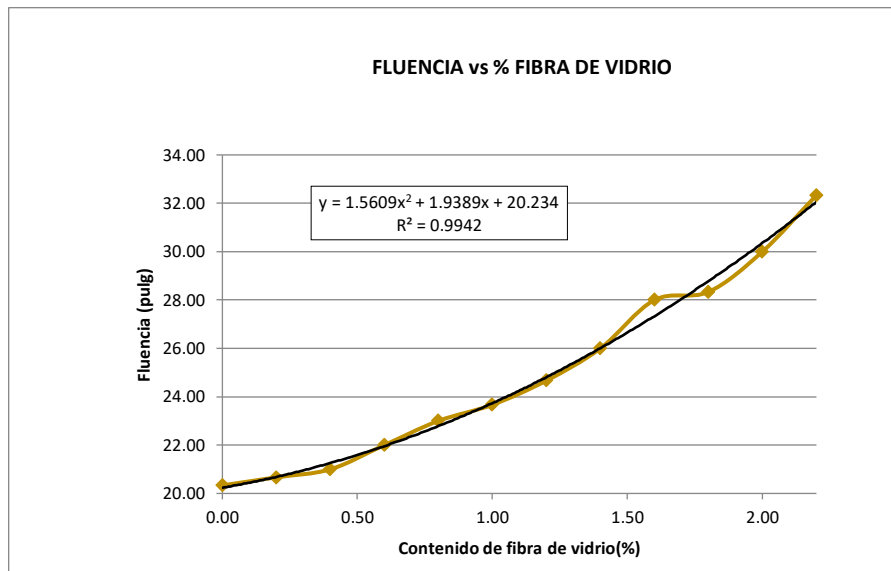
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.14. V.A.M vs Contenido de fibra de vidrio (%).



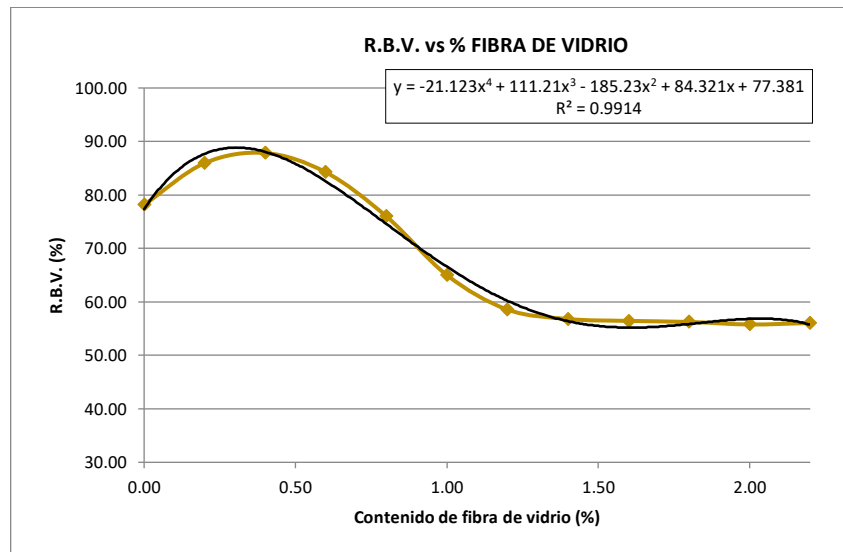
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.15. Fluencia vs Contenido de fibra de vidrio (%).



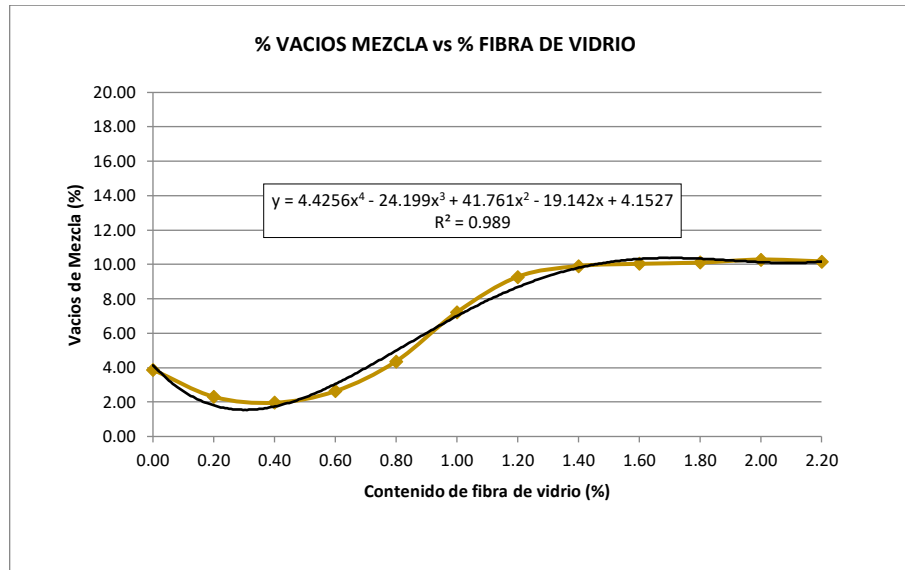
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.16. R.B.V vs Contenido de fibra de vidrio (%).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.17. Vacíos de Mezcla vs Contenido de fibra de vidrio (%).



Fuente: Elaboración propia.

Máximos y mínimos de un vértice

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Condición para determinar un vértice:

$a < 0$ ocurre un máximo

$a > 0$ ocurre un mínimo

Determinación de las coordenadas de un vértice:

$$x_{\text{vértice}} = -\frac{b}{2a} \quad y_{\text{vértice}} = f(x_{\text{vértice}})$$

Estabilidad máxima

Ecuaciones en estudio:

$$y = -2022.8x^5 + 11220x^4 - 20880x^3 + 14088x^2 - 2616.6x + 2293.1$$

$$\mathbf{a = -2022.80 < 0 \quad \text{máximo}}$$

$$\mathbf{b = 11220.00}$$

$$\mathbf{c = -20880.00}$$

$$\mathbf{d = 14088.00}$$

$$\mathbf{e = -2616.6}$$

$$\mathbf{f = 2293.10}$$

X máx=0.62 Contenido de aditivo para la estabilidad máxima

Y máx=2582.54 Estabilidad máxima.

Densidad máxima

$$y = -0.0581x^5 + 0.2126x^4 - 0.0297x^3 - 0.528x^2 + 0.3328x + 2.3211$$

$$\mathbf{a = -0.0581 < 0 \quad \text{máximo}}$$

$$\mathbf{b = 0.2126}$$

$$\mathbf{c = -0.0297}$$

$$\mathbf{d = -0.528}$$

$$\mathbf{e = 0.3328}$$

$$\mathbf{f = 2.3211}$$

X máx=0.330 Contenido de aditivo para la densidad máxima

Y máx=2.374 Densidad máxima.

Vacíos en la mezcla

Método A:

Vacíos de la mezcla debe ser igual a 3, 4 ó 5 % según diseño, se reemplaza dicho valor en "y" para obtener el valor de la incógnita "x" (contenido de ligante a ese % de vacíos).

Ecuación original:

$$y = 4.4256x^4 - 24.199x^3 + 41.761x^2 - 19.142x + 4.1527$$

a =4.456 < 0 **Mínimo**

b =-24.199

c =41.761

d =-19.142

e =4.1527

X máx =0.70 Contenido de ligante para los vacíos de la mezcla mínimo

Y máx =4.00 Vacíos de la mezcla mínimo

Tabla N° 3.45. Porcentaje óptimo de fibra de vidrio.

| Propiedad | Valor según ecuación | % de Fibra de vidrio | % Óptimo de Fibra de vidrio |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| Estabilidad máxima (Lb) | 2582.54 | 0.62 | 0.60 |
| Densidad máxima (gr/cm ³) | 2.37 | 0.33 | |
| Vacíos de la mezcla mínimo (%) | 3.99 | 0.70 | |

Fuente: Elaboración propia.

El % Porcentaje óptimo de fibra de vidrio es del **0.60%**.

3.14. Análisis estadístico.

3.14.1. Muestras para el análisis estadístico.

Se hicieron 15 muestras de mezclas asfáltica con 0.60 % fibra de vidrio para un mejor estudio y confirmar si los datos obtenidos de la investigación son confiables.

Se realizó el mismo procedimiento para hacer briquetas por el método Marshall. Y se hicieron las diferentes mediciones y pesajes para luego llevarlas al equipo Marshall.

Para el análisis estadístico solo se mostrarán los resultados obtenidos de las 15 muestras, para una mayor revisión ver anexos 4 análisis estadístico.

Figura N° 3.43. Muestras ya pesadas



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.44. 15 briquetas con 0.60% de fibra de vidrio para el análisis estadístico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.46. Resultados con 0.60% de fibra de vidrio para un análisis estadístico.

| N° de probeta | % fibra de vidrio | Densidad real | Estabilidad real corregida | Lectura dial del flujo | % De vacíos mezcla total | V.A.M.(vacíos agregado mineral) | R.B.V. (relación betumen vacíos) |
|---------------|-------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | grs/cm ³ | libras | 0,01 pulg | % | % | % |
| 1 | 0.60 | 2.33 | 3148.91 | 20.0 | 5.32 | 19.01 | 72.02 |
| 2 | | 2.22 | 2813.16 | 19.0 | | | |
| 3 | | 2.31 | 3050.36 | 24.0 | | | |
| 4 | 0.60 | 2.28 | 2114.69 | 25.0 | 4.87 | 18.63 | 73.85 |
| 5 | | 2.32 | 2896.38 | 15.0 | | | |
| 6 | | 2.30 | 3536.30 | 15.0 | | | |
| 7 | 0.60 | 2.34 | 2657.52 | 20.0 | 4.18 | 18.04 | 76.81 |
| 8 | | 2.29 | 2825.43 | 20.0 | | | |
| 9 | | 2.32 | 2280.27 | 15.0 | | | |
| 10 | 0.60 | 2.29 | 2565.69 | 18.0 | 4.72 | 18.50 | 74.49 |
| 11 | | 2.32 | 3495.61 | 20.0 | | | |
| 12 | | 2.29 | 2272.76 | 54.0 | | | |
| 13 | 0.60 | 2.37 | 2341.77 | 18.0 | 3.76 | 17.68 | 78.74 |
| 14 | | 2.31 | 2431.07 | 18.0 | | | |
| 15 | | 2.30 | 2169.88 | 19.0 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

3.14.2. Análisis estadístico de datos.

El análisis estadístico de datos tiene como objetivo determinar valores atípicos o outliers, saltos o discontinuidades, concentraciones de valores, forma de la distribución, etc. Por otra parte, este análisis se puede realizar sobre todos los casos conjuntamente o de forma separada por grupos. En este último caso los gráficos y estadísticos permiten identificar si los datos proceden de una o varias poblaciones, considerando la variable que determina los grupos como factor diferenciador de las poblaciones. También permite comprobar, mediante técnicas gráficas y contrastes no paramétricos, si los datos han sido extraídos de una población con distribución aproximadamente normal.

Tabla N° 3.47. Resumen de procesamiento de casos.

| Resumen de procesamiento de casos | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|------------|----------|------------|-------|------------|
| | Casos | | | | | |
| | Válido | | Perdidos | | Total | |
| | N | Porcentaje | N | Porcentaje | N | Porcentaje |
| Densidad Real | 5 | 33.3% | 10 | 66.7% | 15 | 100.0% |
| Estabilidad Real | 5 | 33.3% | 10 | 66.7% | 15 | 100.0% |
| Fluencia | 5 | 33.3% | 10 | 66.7% | 15 | 100.0% |
| Porcentaje de vacíos | 5 | 33.3% | 10 | 66.7% | 15 | 100.0% |
| VAM | 5 | 33.3% | 10 | 66.7% | 15 | 100.0% |
| RBV | 5 | 33.3% | 10 | 66.7% | 15 | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.48. Medidas centralizadas y de dispersión densidad.

| Descriptivos | | | | |
|--------------|---|-----------------|-------------|-------------|
| | | | Estadístico | Desv. Error |
| Densidad | Media | | 2.29 | 0.02 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 2.23 | |
| | | Límite superior | 2.34 | |
| | Media recortada al 5% | | 2.29 | |
| | Mediana | | 2.31 | |
| | Varianza | | 0.00 | |
| | Desv. Desviación | | 0.04 | |
| | Mínimo | | 2.22 | |
| | Máximo | | 2.33 | |
| | Rango | | 0.11 | |
| | Rango intercuartil | | 0.08 | |
| | Asimetría | | -1.39 | 0.91 |
| | Curtosis | | 1.56 | 2.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.49. Medidas centralizadas y de dispersión estabilidad.

| | | | | |
|-------------|---|-----------------|-----------|--------|
| Estabilidad | Media | | 2804.70 | 182.13 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 2299.02 | |
| | | Límite superior | 3310.37 | |
| | Media recortada al 5% | | 2823.91 | |
| | Mediana | | 2896.38 | |
| | Varianza | | 165854.98 | |
| | Desv. Desviación | | 407.25 | |
| | Mínimo | | 2114.69 | |
| | Máximo | | 3148.91 | |
| | Rango | | 1034.22 | |
| | Rango intercuartil | | 635.71 | |
| | Asimetría | | -1,68 | 0.91 |
| | Curtosis | | 3.11 | 2.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.50. Medidas centralizadas y de dispersión fluencia.

| | | | | |
|-----------------|---|-----------------|-------|------|
| Fluencia | Media | | 20.60 | 1.81 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 15.59 | |
| | | Límite superior | 25.61 | |
| | Media recortada al 5% | | 20.67 | |
| | Mediana | | 20.00 | |
| | Varianza | | 16.30 | |
| | Desv. Desviación | | 4.04 | |
| | Mínimo | | 15.00 | |
| | Máximo | | 25.00 | |
| | Rango | | 10.00 | |
| | Rango intercuartil | | 7.50 | |
| | Asimetría | | -0.35 | 0.91 |
| | Curtosis | | -0.95 | 2.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.51. Medidas centralizadas y de dispersión porcentaje de vacíos.

| | | | | |
|-----------------------------|---|-----------------|-------|------|
| Porcentaje de vacíos | Media | | 4.57 | 0.27 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 3.81 | |
| | | Límite superior | 5.32 | |
| | Media recortada al 5% | | 4.57 | |
| | Mediana | | 4.72 | |
| | Varianza | | 0.37 | |
| | Desv. Desviación | | 0.60 | |
| | Mínimo | | 3.76 | |
| | Máximo | | 5.32 | |
| | Rango | | 1.56 | |
| | Rango intercuartil | | 1.13 | |
| | Asimetría | | -0.25 | 0.91 |
| | Curtosis | | -0.92 | 2.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.52. Medidas centralizadas y de dispersión VAM.

| | | | | |
|------------|---|-----------------|-------|------|
| VAM | Media | | 18.37 | 0.23 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 17.73 | |
| | | Límite superior | 19.02 | |
| | Media recortada al 5% | | 18.38 | |
| | Mediana | | 18.50 | |
| | Varianza | | 0.27 | |
| | Desv. Desviación | | 0.52 | |
| | Mínimo | | 17.68 | |
| | Máximo | | 19,01 | |
| | Rango | | 1.33 | |
| | Rango intercuartil | | 0.96 | |
| | Asimetría | | -0.27 | 0.91 |
| | Curtosis | | -0.92 | 2.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.53. Medidas centralizadas y de dispersión RBV.

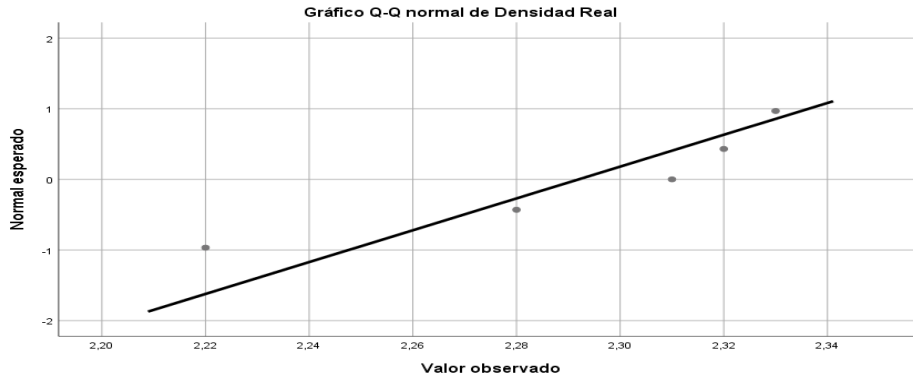
| | | | | |
|------------|---|-----------------|-------|------|
| RBV | Media | | 75.18 | 1.17 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 71.92 | |
| | | Límite superior | 78,44 | |
| | Media recortada al 5% | | 75.16 | |
| | Mediana | | 74.49 | |
| | Varianza | | 6.89 | |
| | Desv. Desviación | | 2.62 | |
| | Mínimo | | 72.02 | |
| | Máximo | | 78.74 | |
| | Rango | | 6.72 | |
| | Rango intercuartil | | 4.84 | |
| | Asimetría | | 0.35 | 0.91 |
| | Curtosis | | -0.88 | 2.00 |

Fuente: Elaboración propia.

3.14.2.1. Gráficos Q-Q Normal.

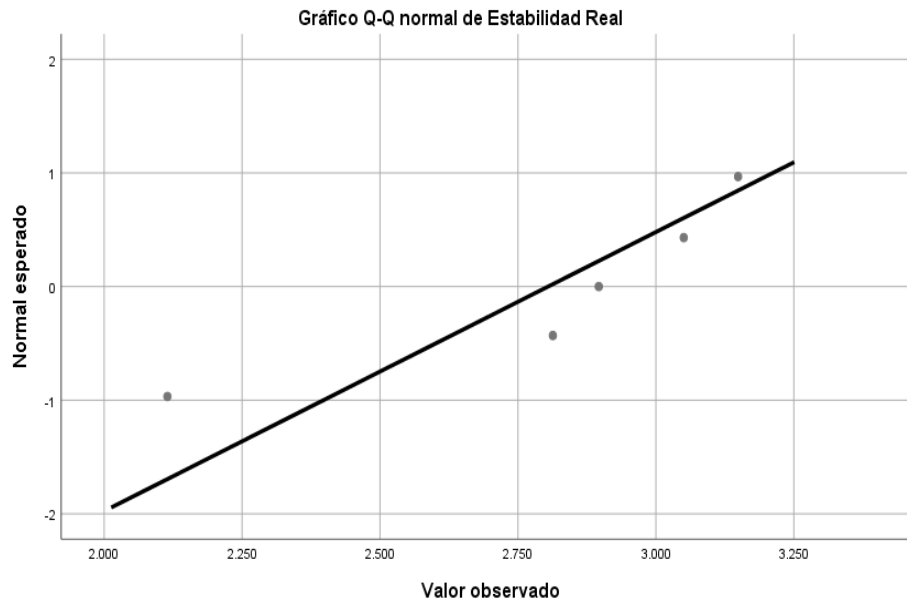
El Q-Q Normal presenta simultáneamente para cada elemento el valor observado y el valor esperado bajo el supuesto de normalidad. Si los datos proceden de una distribución normal los puntos aparecen agrupados en torno a la línea recta esperada.

Gráfico N° 3.18. Grafico Q-Q densidad.



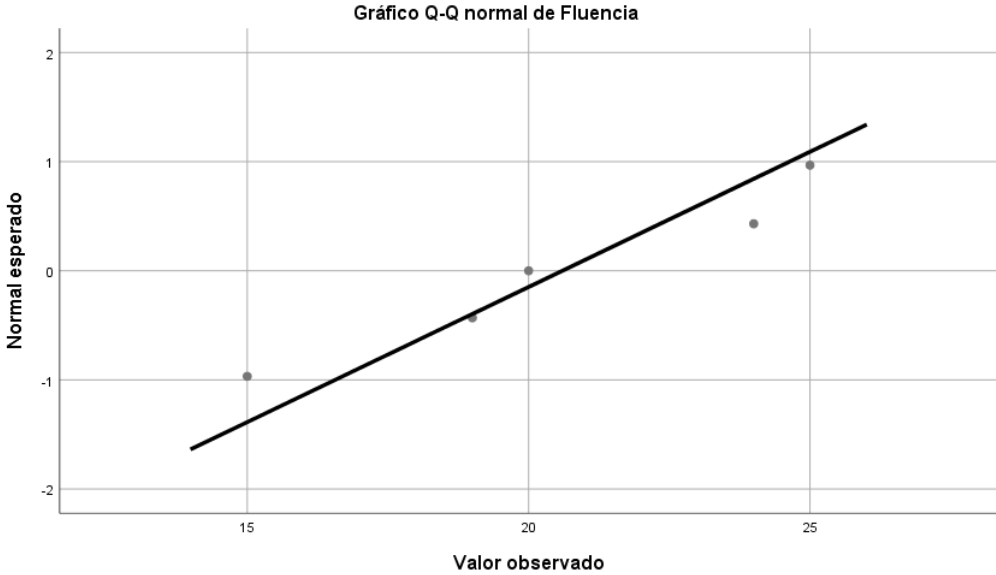
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.19. Gráfico Q-Q estabilidad.



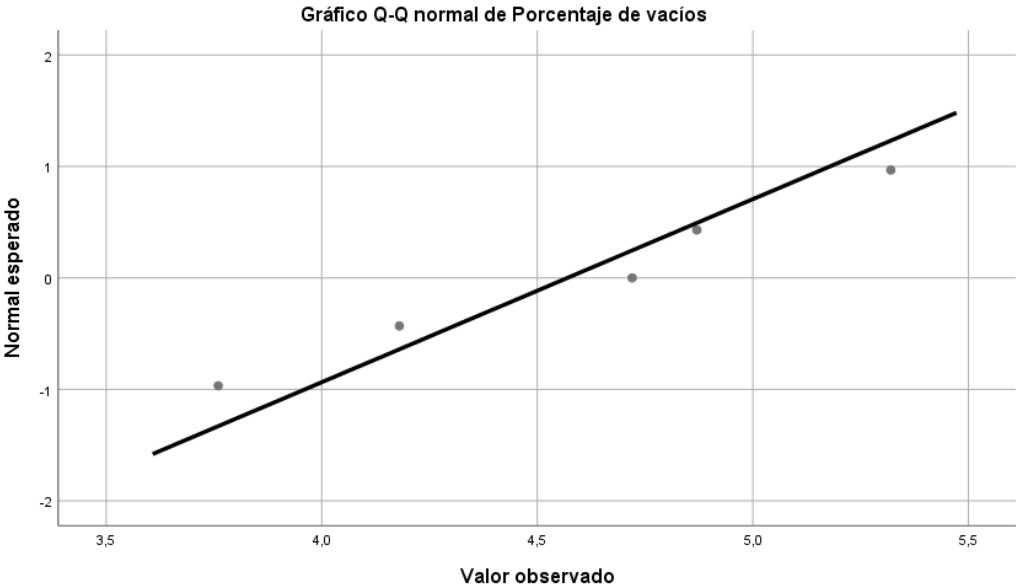
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.20: Gráfico Q-Q fluencia.



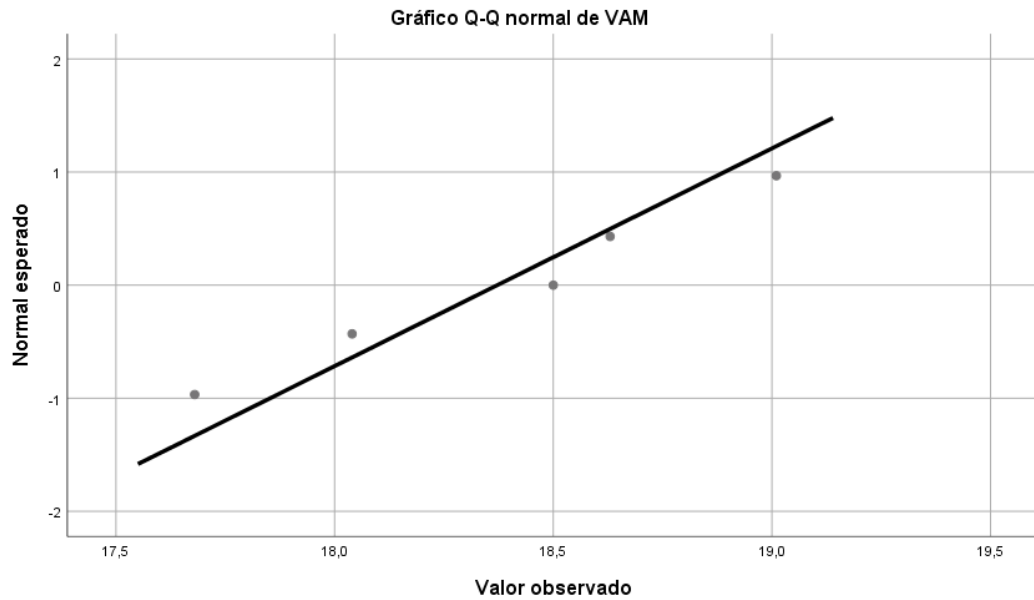
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.21. Gráfico Q-Q porcentaje de vacíos.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.22. Gráfico Q-Q VAM.



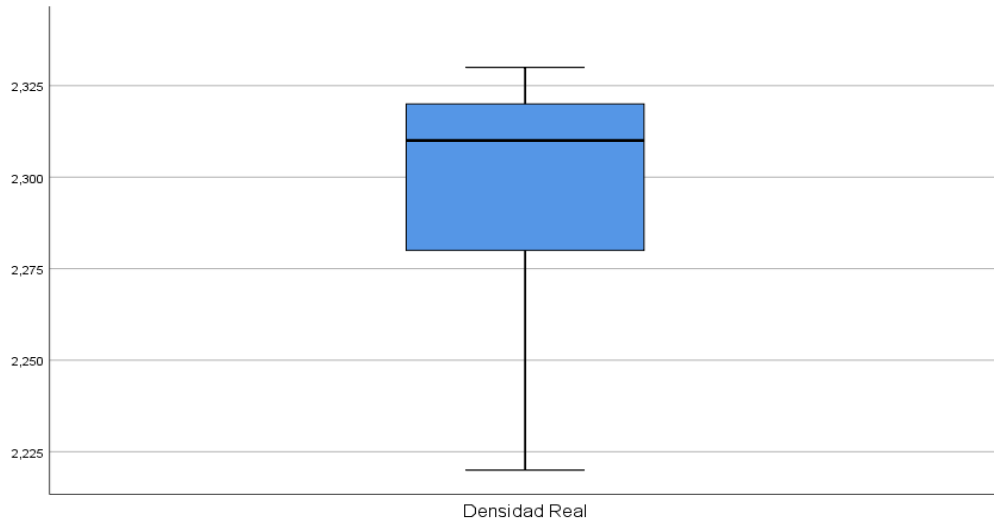
Fuente: Elaboración propia

3.14.2.2. Diagramas de cajas

El diagrama de cajas muestra a simple vista la mediana (la línea más gruesa de la caja) y los cuartiles de los datos, pudiendo también representar los valores atípicos de estos.

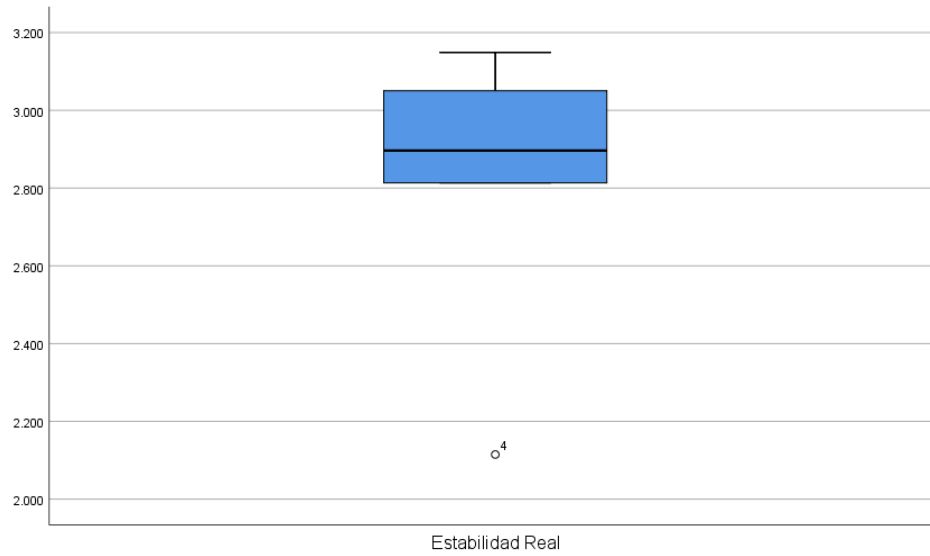
En todas las muestras no se observa valores atípicos, las muestras se agrupan en medias relacionadas, excepto dos que se encuentran en medias por encima de 30.

Diagrama N° 3.1: Diagrama de cajas densidad.



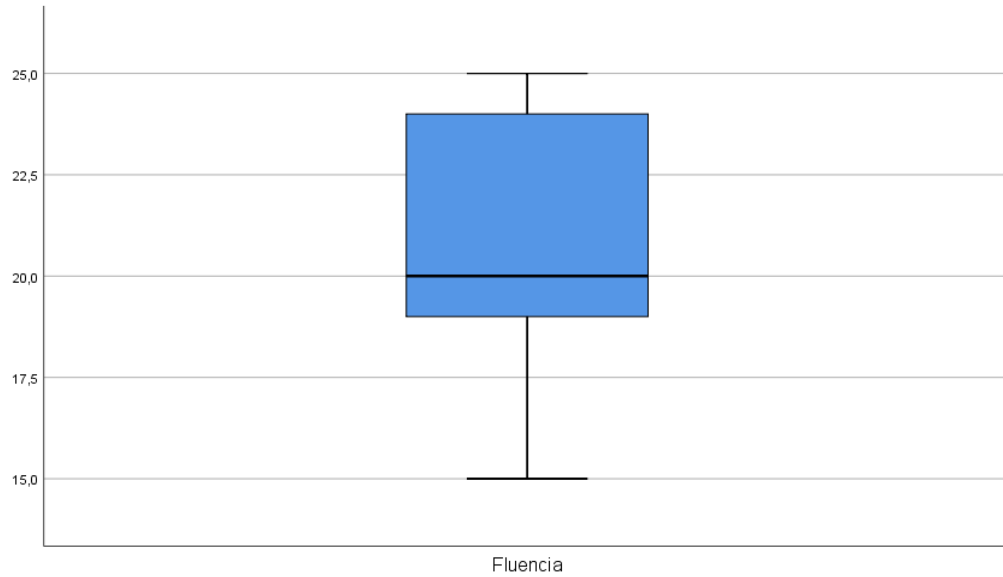
Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 3.2. Diagrama de cajas estabilidad.



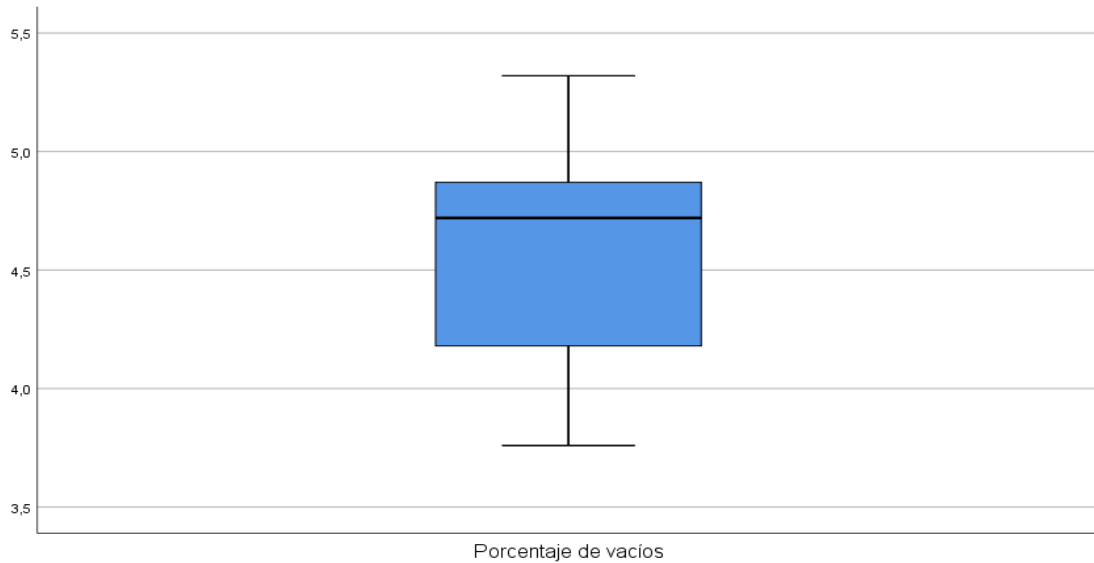
Fuente: Elaboración propia

Diagrama N°3.3. Diagrama de cajas fluencia.



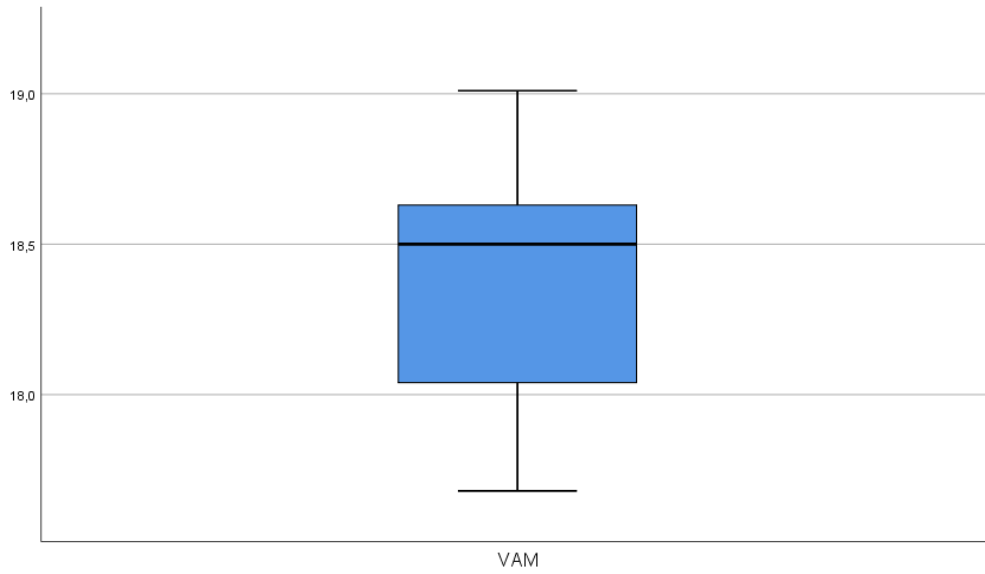
Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 3.4. Diagrama de cajas porcentajes de vacíos.



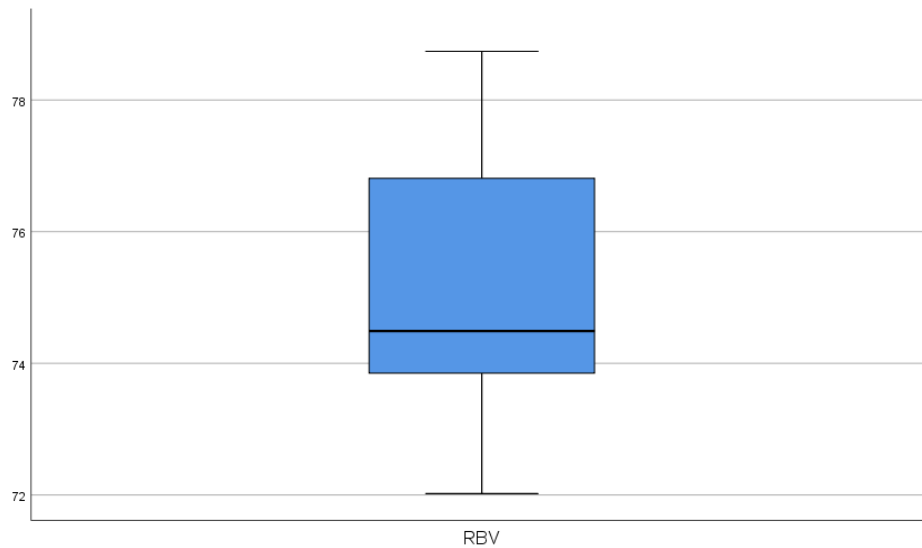
Fuente: Elaboración propia

Diagrama N°3.5. Diagrama de cajas VAM.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama N° 3.6. Diagrama de cajas porcentajes de RBV.



Fuente: Elaboración propia.

3.14.2.3. Pruebas de normalidad.

Normalidad es cuando los valores de la variable aleatoria dependiente siguen una distribución normal en la población a la que pertenece la muestra. Se plantea la siguiente prueba de hipótesis:

Ho: La variable en la población tiene distribución Normal

H1: La variable en la población es distinta de la distribución Normal

Pruebas estadísticas: Kolmogorov-Smirnov o Shapiro –Wilk

Cuando las muestras son pequeñas, menores a 30 se debe utilizar la prueba de Shapiro-Wilk.

El nivel de significación utilizado es de 0.05

En el programa estadístico SPSS si Sig.(p-valor)>0.05 aceptamos Ho (hipótesis nula) y la distribución es normal.

Tabla 3.54. Pruebas de normalidad

| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|--|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Densidad Real | 0.26 | 5 | 0.20* | 0.87 | 5 | 0.26 |
| Estabilidad Real | 0.31 | 5 | 0.13 | 0.84 | 5 | 0.15 |
| Fluencia | 0.20 | 5 | 0.20* | 0.95 | 5 | 0.71 |
| Porcentaje de vacíos | 0.20 | 5 | 0.20* | 0.98 | 5 | 0.91 |
| VAM | 0.20 | 5 | 0.20* | 0.98 | 5 | 0.91 |
| RBV | 0.20 | 5 | 0.20* | 0.97 | 5 | 0.90 |
| *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. | | | | | | |
| a. Corrección de significación de Lilliefors | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis.

Todas las variables analizadas presentan un nivel de significación mayor al 5% por tanto se puede afirmar que tienen una distribución normal y los resultados obtenidos con la fibra de vidrio 0.60% en la mezcla asfáltica son confiables.

3.15. Determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico agregando diferentes porcentajes de cemento asfáltico manteniendo un contenido de fibra de vidrio de 0.60%.

Para obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico se realizará 18 briquetas, mediante el método Marshall con diferentes porcentajes de cemento asfáltico, para determinar el contenido óptimo a utilizar. Se agregará un porcentaje de fibra de vidrio de 0.60%.

Los porcentajes de asfalto que se utilizarán en la elaboración de las briquetas son los siguientes: 4,5 %; 5 %; 5,5 %; 6 %; 6,5 %; 7 %. Se hará 3 briquetas para cada porcentaje.

Tabla N° 3.55. Dosificación con contenido de fibra de vidrio a 0.60% y diferentes porcentajes de cemento asfáltico según granulometría de diseño.

| | Dosificación | | | | | |
|------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Porcentaje de fibra de vidrio (%) | 4.50% | 5.00% | 5.50% | 6.00% | 6.50% | 7.00% |
| Porcentaje de fibra de vidrio (%) | 0.60% | 0.60% | 0.60% | 0.60% | 0.60% | 0.60% |
| Porcentajes de agregado Total (%) | 99.40% | 99.40% | 99.40% | 99.40% | 99.40% | 99.40% |
| Porcentaje de agregado parcial (%) | 94.90% | 94.40% | 93.90% | 93.40% | 92.90% | 92.40% |
| Peso de cemento asfáltico (gr) * | 54.00 | 60.00 | 66.00 | 72.00 | 78.00 | 84.00 |
| Peso de fibra de vidrio (gr) | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 |
| Peso de grava (gr) * | 284.70 | 283.20 | 281.70 | 280.20 | 278.70 | 277.20 |
| Peso de gravilla (gr) * | 364.42 | 362.50 | 360.58 | 358.66 | 356.74 | 354.82 |
| Peso de arena (gr) * | 489.68 | 487.10 | 484.52 | 481.94 | 479.36 | 476.78 |
| Peso total de la briketa (gr) * | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 |

Fuente: Elaboración propia.

(*) Valores para una briketa, que varían según los porcentajes de ligante asfáltico y agregado.

3.15.1. Desarrollo de las briquetas.

Equipo:

- Bandejas metálicas.
- Balanza A \pm 0,1 gr.
- Espátula.
- Termómetro de 360°C.
- Agregados (grava, gravilla y arena).
- Cemento asfáltico convencional.
- Cocina a gas.
- Martillo de compactación.
- Moldes para las probetas.
- Extractor de probetas.

Procedimiento:

Antes de preparar la mezcla se debe limpiar y calentar los moldes a una temperatura aproximada de 100 a 150° C. también se debe pesar en una fuente los agregados de acuerdo a la dosificación indicada en la tabla 3.34 y calentar en la cocina de gas. Por otro lado, se debe calentar el asfalto a una temperatura de 120 a 140°C.

Se coloca la bandeja de los agregados en la balanza y se vierte sobre ellos el cemento asfáltico caliente de acuerdo al peso establecido en la tabla 3.34.

Figura N° 3.45. Mezcla del agregado con el cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Se lleva nuevamente la fuente con los agregados más el cemento asfáltico a la hornalla y mezclar bien hasta tener una mezcla homogénea a una temperatura de 140°C y luego ir incorporando poco a poco la fibra de vidrio y llegar a tener una mezcla bien distribuida todos sus materiales.

Figura N° 3.46. Mezcla del agregado con el cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Vaciar la mezcla al molde previamente calentado, se fija sobre la superficie de la mezcla un martillo en forma de cilindro hueco, que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre un disco. Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes para cada cara de la briqueta en la compactación proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 3 briquetas por cada porcentaje de cemento asfáltico con un porcentaje de fibra de vidrio de 0.60% haciendo un total de 18 briquetas.

Figura N° 3.47. Muestras compactada en ambas caras.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las briquetas se llevaron estas a la prensa Marshall para determinar: peso específico total, análisis de la densidad, contenido de vacíos, medición de la estabilidad y fluencia.

Primero se debe medir con un vernier las alturas en cuatro puntos de la briqueta y de esta forma determinar su altura media. Posteriormente pesar las briquetas (peso seco), luego colocar las briquetas en agua a 25°C por 5 minutos y pesar después de ser saturadas, también se debe determinar el peso sumergido.

Figura N° 3.48. Medición de alturas de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Por último, se debe sumergir las briquetas en baño de agua a 60° C durante un tiempo no inferior de 30 minutos, ni mayor a 40 minutos.

Figura N° 3.49. Baño de agua a 60 ° C durante 30 minutos.



Fuente: Elaboración propia

Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero. Se procede a colocar la briqueta en las mordazas y aplica la carga hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida y el número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60° C se anota como el valor de estabilidad.

Mientras se realiza el ensayo de estabilidad se mantiene el medidor de deformación (fluencia) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima, se lee y anota esta lectura como valor de fluencia de la briqueta.

Figura N° 3.50. Lectura de la estabilidad y fluencia equipo Marshall



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.56. Pesos específicos retenidos en diferentes tamices.

| | |
|---|--------|
| Tipo de cemento asfáltico: convencional | 85/100 |
| Número de golpes por cara | 75 |
| Temperatura de mezclado (°C) | 150 |
| Peso específico del ligante AASHTO T-229 (gr/cm ³) | 1.0180 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.57. Método Marshall.

| Granulometría Formada | P. Específico | % agregado |
|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Mat. Retenido Tamiz N° 4 | 2.70 | 48.49 |
| Mat. Pasa Tamiz N° 4 | 2.65 | 51.51 |
| Peso Específico Total | 2.67 | 100 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.58. Peso específico del agregado.

| Agregado | P.E. | % |
|-----------------|-------------|----------|
| Grava | 2.69 | 25 |
| Gravilla | 2.71 | 32 |
| Arena | 2.65 | 43 |
| Fibra de vidrio | 0.43 | 0.60 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.59. Planilla método Marshall mezcla asfáltica con fibra de vidrio.

| N° de probeta | % FIBRA DE VIDRIO | % de Asfalto | | Altura de probeta | Peso Briqueta | | | Volumen | Densidad | | | Vacíos | | | Estabilidad | | | | Fluencia | | | |
|------------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|-------------------|---------|----------|---------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------|---|----------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| | | Base Mezcla | Base Agregados | | Seco | Sat. Sup. Seca | Sumergida en agua | | Probeta | Densidad real | Densidad promedio | Densidad maxima teorica | % de vacíos mezcla total | V.A.M.(vacíos agregado mineral) | R.B.V. (relacion betumen vacíos) | Lectura del dial | Carga | Factor de correccion de altura de probeta | Estabilidad real corregida | Estabilidad promedio | lectura dial del flujo | Fluencia promedio |
| | | % | % | | cm | grs. | grs. | | grs. | cm3 | grs/cm3 | grs/cm3 | grs/cm3 | % | % | % | mm | libras | - | libras | libras | 0,01 pulg |
| 1 | 0.60 | 4.50 | 4.71 | 6.70 | 1182.20 | 1188.00 | 649.00 | 539.0 | 2.19 | 2.186 | 2.47 | 11.39 | 21.20 | 46.26 | 1110 | 2970.79 | 0.92 | 2740.55 | 2949.5 | 9 | 10.00 | |
| 2 | | | | 6.75 | 1182.50 | 1186.10 | 650.00 | 536.1 | 2.21 | | | | | | 1305 | 3495.88 | 0.91 | 3181.25 | | 11 | | |
| 3 | | | | 6.85 | 1183.20 | 1194.30 | 646.00 | 548.3 | 2.16 | | | | | | 1233 | 3302.00 | 0.89 | 2926.56 | | 10 | | |
| 4 | 0.60 | 5.00 | 5.26 | 6.55 | 1102.10 | 1107.30 | 622.00 | 485.3 | 2.27 | 2.228 | 2.45 | 8.91 | 20.02 | 55.48 | 1270 | 3401.63 | 0.95 | 3240.06 | 3269.1 | 11 | 11.33 | |
| 5 | | | | 6.75 | 1197.00 | 1203.60 | 662.00 | 541.6 | 2.21 | | | | | | 1394 | 3735.54 | 0.91 | 3399.34 | | 13 | | |
| 6 | | | | 6.70 | 1203.70 | 1212.40 | 666.00 | 546.4 | 2.20 | | | | | | 1282 | 3433.95 | 0.92 | 3167.82 | | 10 | | |
| 7 | 0.60 | 5.50 | 5.82 | 6.75 | 1191.60 | 1196.30 | 668.00 | 528.3 | 2.26 | 2.253 | 2.43 | 7.13 | 19.48 | 63.42 | 1365 | 3657.45 | 0.91 | 3328.28 | 3262.0 | 16 | 14.33 | |
| 8 | | | | 6.65 | 1176.30 | 1182.60 | 666.00 | 516.6 | 2.28 | | | | | | 1303 | 3490.50 | 0.93 | 3259.43 | | 14 | | |
| 9 | | | | 6.75 | 1195.50 | 1199.20 | 662.00 | 537.2 | 2.23 | | | | | | 1312 | 3514.73 | 0.91 | 3198.41 | | 13 | | |
| 10 | 0.60 | 6.00 | 6.38 | 6.45 | 1173.30 | 1177.90 | 660.00 | 517.9 | 2.27 | 2.241 | 2.41 | 6.80 | 20.21 | 66.34 | 1251 | 3350.47 | 0.98 | 3266.71 | 2903.1 | 21 | 19.33 | |
| 11 | | | | 6.65 | 1203.10 | 1211.30 | 667.00 | 544.3 | 2.21 | | | | | | 1055 | 2822.68 | 0.93 | 2635.82 | | 18 | | |
| 12 | | | | 6.65 | 1183.20 | 1189.20 | 663.00 | 526.2 | 2.25 | | | | | | 1123 | 3005.79 | 0.93 | 2806.81 | | 19 | | |
| 13 | 0.60 | 6.50 | 6.95 | 6.55 | 1170.50 | 1181.90 | 644.00 | 537.9 | 2.18 | 2.203 | 2.38 | 7.61 | 21.89 | 65.23 | 1015 | 2714.97 | 0.95 | 2586.01 | 2344.2 | 25 | 24.00 | |
| 14 | | | | 6.45 | 1169.50 | 1174.70 | 648.00 | 526.7 | 2.22 | | | | | | 820 | 2189.87 | 0.98 | 2135.13 | | 23 | | |
| 15 | | | | 6.55 | 1175.80 | 1180.20 | 649.00 | 531.2 | 2.21 | | | | | | 908 | 2426.84 | 0.95 | 2311.57 | | 24 | | |
| 16 | 0.60 | 7.00 | 7.53 | 6.55 | 1188.40 | 1193.90 | 637.00 | 556.9 | 2.13 | 2.158 | 2.36 | 8.73 | 23.80 | 63.30 | 780 | 2082.16 | 0.95 | 1983.26 | 1701.2 | 28 | 28.33 | |
| 17 | | | | 6.60 | 1177.40 | 1181.40 | 636.00 | 545.4 | 2.16 | | | | | | 611 | 1627.08 | 0.94 | 1534.66 | | 29 | | |
| 18 | | | | 6.55 | 1178.60 | 1185.20 | 645.00 | 540.2 | 2.18 | | | | | | 625 | 1664.78 | 0.95 | 1585.70 | | 28 | | |
| ESPECIFICACIONES | | | | mínimo | | | | | | | | 3 | 13 | 75 | | | | | 1800 | | 8 | |
| | | | | máximo | | | | | | | | 5 | - | 82 | | | | | - | | 16 | |

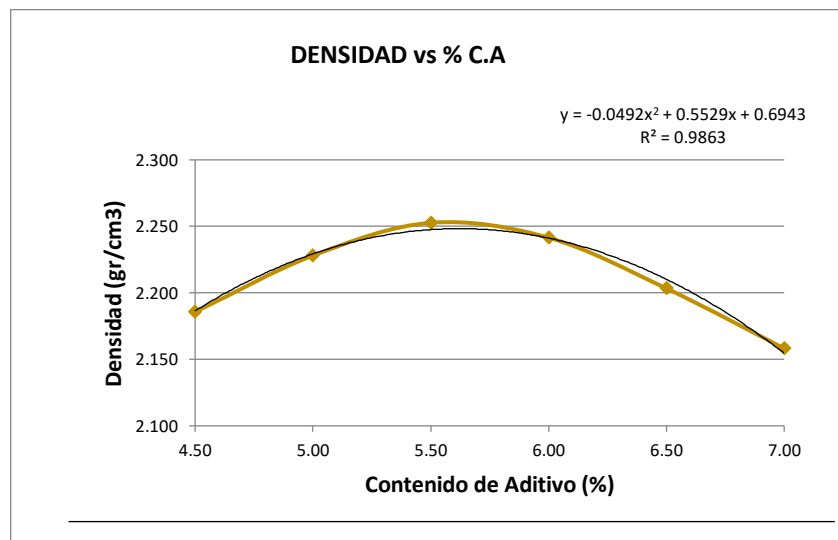
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.60. Resultados con diferentes porcentajes de cemento asfáltico y con un porcentaje 0.60% de fibra de vidrio.

| Porcentajes de fibra de vidrio | Densidad promedio (gr/cm ³) | Estabilidad (libra) | Fluencia (pulg) | % De vacíos de mezcla total (%) | R.B.V. (relación betún vacíos) (%) | V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%) |
|--------------------------------|---|---------------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|---|
| 4.50 | 2.186 | 2949.46 | 10.00 | 11.39 | 46.26 | 21.20 |
| 5.00 | 2.228 | 3269.07 | 11.33 | 8.91 | 55.48 | 20.02 |
| 5.50 | 2.253 | 3262.04 | 14.33 | 7.13 | 63.42 | 19.48 |
| 6.00 | 2.241 | 2903.11 | 19.33 | 6.80 | 66.34 | 20.21 |
| 6.50 | 2.203 | 2344.23 | 24.00 | 7.61 | 65.23 | 21.89 |
| 7.00 | 2.158 | 1701.21 | 28.33 | 8.73 | 63.30 | 23.80 |

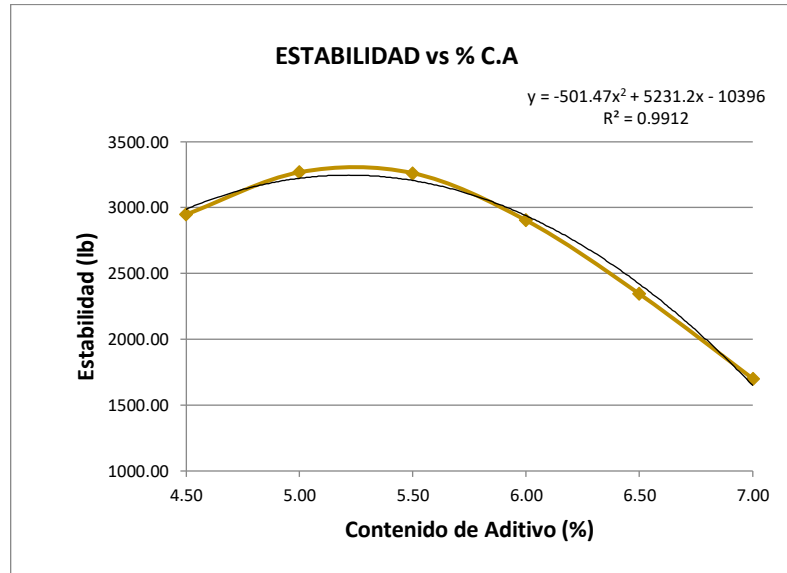
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.23. Densidad vs contenido C.A (%).



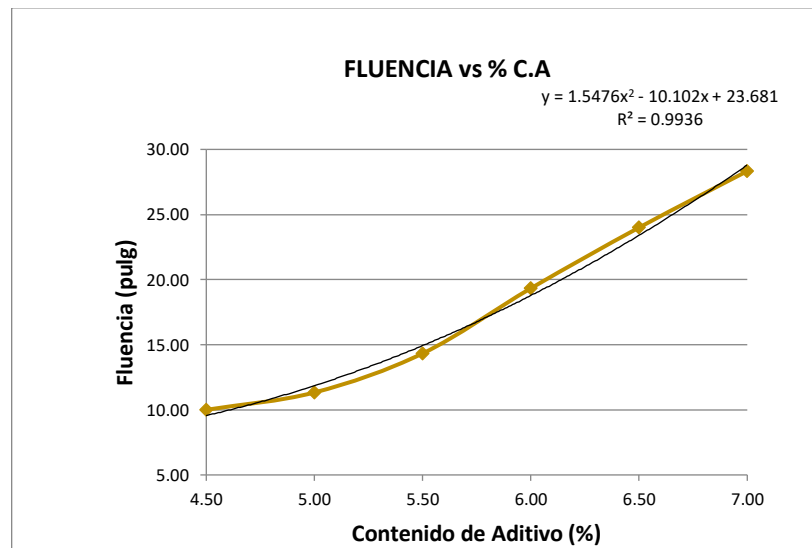
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.24. Estabilidad vs contenido C.A (%).



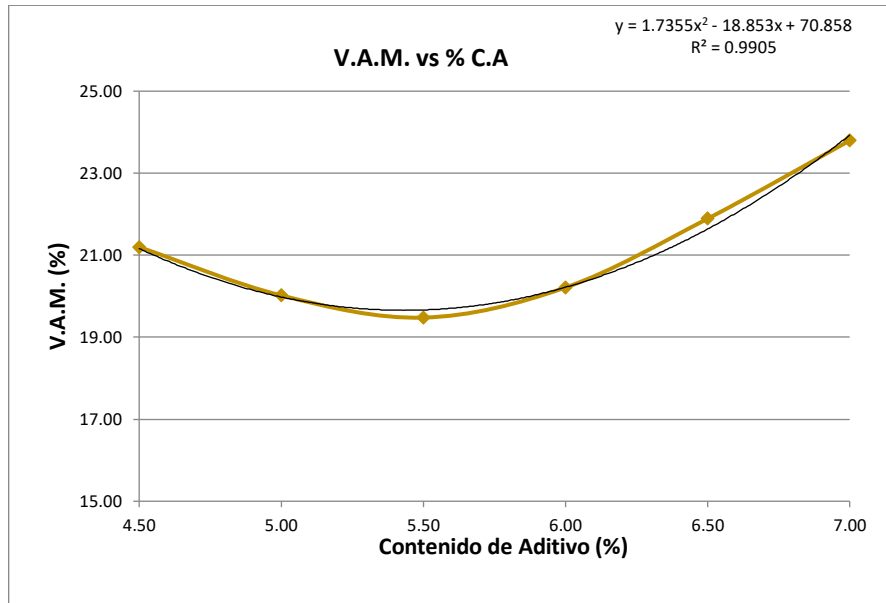
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.25. Fluencia vs contenido C.A (%).



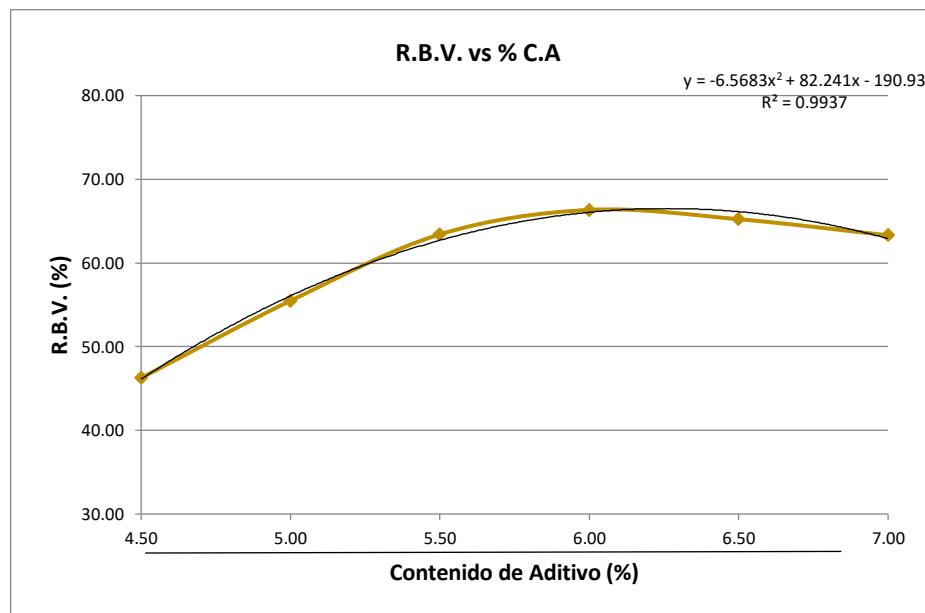
Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 3.26. V.A.M vs contenido C.A (%).



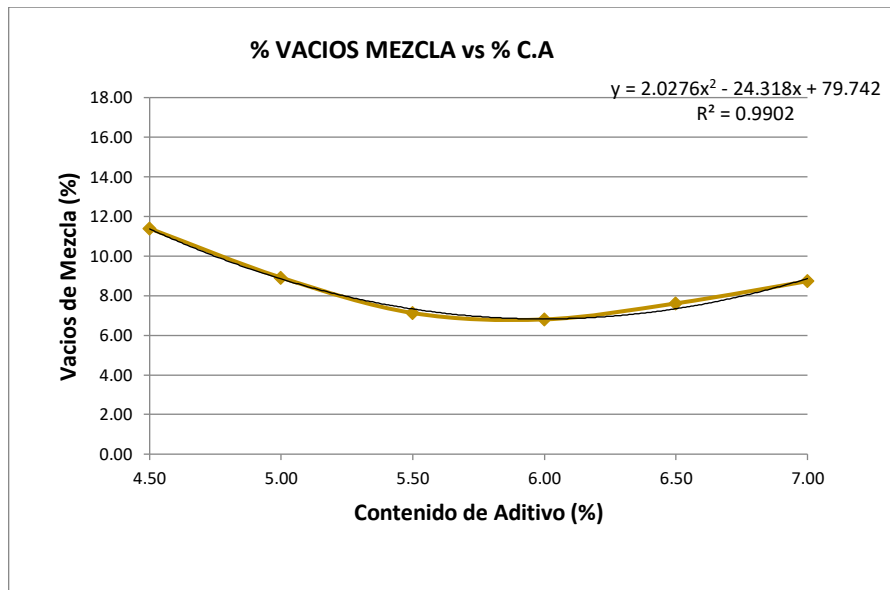
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.27: R.B.V vs contenido C.A (%).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3.28: Vacíos de Mezcla vs contenido C.A (%).



Fuente: Elaboración propia.

Máximos y mínimos de un vértice

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Condición para determinar un vértice:

$a < 0$ ocurre un máximo

$a > 0$ ocurre un mínimo

Determinación de las coordenadas de un vértice:

$$x_{\text{vértice}} = -\frac{b}{2a} \qquad y_{\text{vértice}} = f(x_{\text{vértice}})$$

Estabilidad máxima

Ecuaciones en estudio:

$$y = -501.47x^2 + 5231.2x - 10396$$

$$a = -501.47 < 0 \quad \text{m\u00e1ximo}$$

$$b = 5231.2$$

$$c = -10396$$

X m\u00e1x =5.216 Contenido de aditivo para la estabilidad m\u00e1xima

Y m\u00e1x =3246.620 Estabilidad m\u00e1xima.

Densidad m\u00e1xima

$$y = -0.0492x^2 + 0.5529x + 0.6943$$

$$a = -0.0492 < 0 \quad \text{m\u00e1ximo}$$

$$b = 0.5529$$

$$c = 0.6943$$

X m\u00e1x =5.619 Contenido de aditivo para la densidad m\u00e1xima

Y m\u00e1x =2.250 Densidad m\u00e1xima.

Vac\u00edos en la mezcla

M\u00e9todo A:

Vac\u00edos de la mezcla debe ser igual a 3, 4 \u00f3 5 % seg\u00fan dise\u00f1o, se reemplaza dicho valor en "y" para obtener el valor de la inc\u00f3gnita "x" (contenido de ligante a ese % de vac\u00edos).

Ecuaci\u00f3n original:

$$y = 2.0276x^2 - 24.318x + 79.742$$

$$a = 2.0276 < 0 \quad \text{M\u00ednimo}$$

$$b = -24.318$$

$$c = 79.742$$

X máx =6.00 Contenido de ligante para los vacíos de la mezcla mínimo

Y máx =6.820 Vacíos de la mezcla mínimo

Tabla N° 3.61. Resultados de porcentaje óptimo de cemento asfáltico con 0.60% de fibra de vidrio.

| Propiedad | Valor según ecuación | % de Cemento Asfáltico | % Óptimo de Cemento Asfáltico |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|
| Estabilidad maxima (Lb.) | 3246.62 | 5.22 | 5.42 |
| Densidad maxima (gr/cm3) | 2.250 | 5.62 | |
| Vacíos de la mezcla mínimo (%) | 6.820 | 6.00 | |

Fuente: Elaboración propia.

El % Porcentaje óptimo de cemento asfáltico con 0.60% de fibra es de **5.42%**

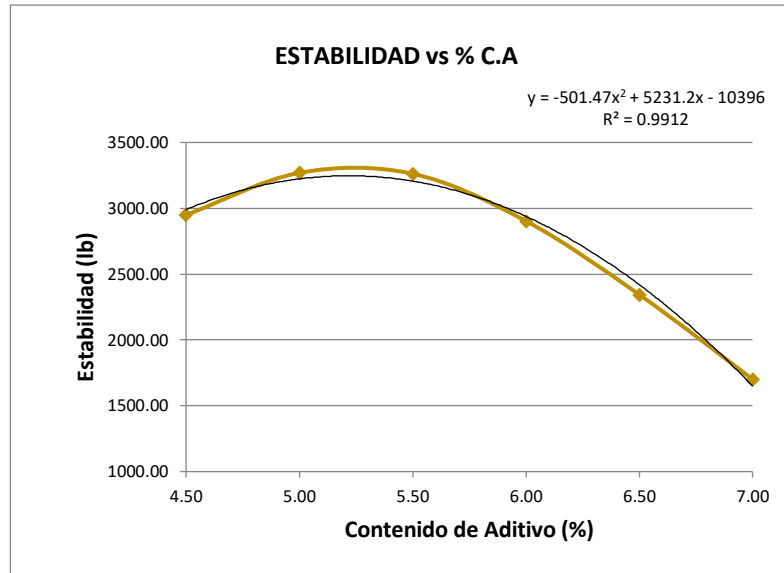
3.16. Análisis complementario de la estabilidad agregando 0.60 % de fibra de vidrio y con diferentes porcentajes de cemento asfáltico.

Tabla 3.62. Análisis de resultados resistencia.

| Tipos de mezclas | Porcentaje óptimo de C.A (%). | Porcentaje óptimo de fibra de vidrio (%). | Resistencia |
|---|-------------------------------|---|---|
| | | | Estabilidad Marshall Valor de Diseño (Lb) |
| Mezcla asfáltica convencional con % óptimo de cemento asfáltico | 6.00 | 0 | 2556.01 |
| Mezcla asfáltica con % óptimo de cemento asfáltico 5.42% Y con un porcentaje de fibra de vidrio | 5.42 | 0.60 | 3246.62 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.29. Estabilidad vs contenido C.A (%).



Fuente: Elaboración propia

Estabilidad máxima

Ecuaciones en estudio:

$$y = -501.47x^2 + 5231.2x - 10396$$

a = -501.47 < 0 **máximo**

b = 5231.2

c = -10396

X máx = 5.216 Contenido de aditivo para la estabilidad máxima

Y máx = 3246.620 Estabilidad máxima.

Realizando cálculos en la ecuación y insertando valores por debajo de los 5.216 de contenido de cemento asfáltico se observa los valores en la siguiente tabla.

Tabla 3.63. Diferentes porcentajes de C.A y la estabilidad.

| Contenido de aditivo C.A (%) | Estabilidad (lb) |
|-------------------------------------|--------------------------|
| 5.00 | 3223.25 |
| 4.50 | 2989.63 |
| 4.25 | 2778.79 |
| 4.00 | 2505.28 |

Fuente: Elaboración propia

Análisis:

Agregando un porcentaje de 0.60 % de fibra de vidrio en una mezcla asfáltica en caliente la estabilidad es mayor con un porcentaje de aditivo de 4.25 con una estabilidad de 2778.79 lb. con relación a una mezcla asfáltica convencional con un porcentaje de aditivo de 6.00 % con una estabilidad de 2556.01.

3.17. Precios unitarios de la mezcla convencional, con otra modificada con fibra de vidrio con su porcentaje óptimo de fibra de vidrio y una mezcla asfáltica con un porcentaje de 0.60% de fibra de vidrio y un porcentaje de cemento asfáltico óptimo de 5.42%.

Se realiza el análisis de precios unitarios por metro cúbico para una mezcla convencional y para las mezclas modificadas.

Para ejecución y transporte una carpeta de concreto asfáltico, el análisis de precios unitarios comprende los costos de materiales, mano de obra, equipo y herramientas, gastos generales e impuestos.

Tabla 3.64. Análisis de precios unitarios, mezcla convencional

| | | Ítem: tratamiento superficial | Unidad: m3 | | | |
|----------|----|--|----------------------|-------|--|-----------------|
| | | Proyecto: análisis de la fibra de vidrio como componente en una mezcla asfáltica en caliente para el mantenimiento de carreteras | Fecha: 28/ago/2020 | | | |
| | | Módulo : conformación del paquete estructural | Tipo de cambio: 6.96 | | | |
| Nº | P. | Descripción | Unid. | Cant. | Unit. (Bs) | Parcial (Bs) |
| 1 | | MATERIALES | | | | |
| | 1 | Grava triturada (25%) | m3 | 0.24 | 130.00 | 30.55 |
| | 2 | Gravilla triturada(32%) | m3 | 0.30 | 150.00 | 45.12 |
| | 3 | Arena (43%) | m3 | 0.40 | 125.00 | 50.53 |
| | 4 | Cemento asfáltico convencional 85-100 | kg | 60.00 | 9.73 | 583.80 |
| | 5 | Diésel | lts | 10.00 | 3.74 | 37.40 |
| | | | | | TOTAL MATERIALES | 747.40 |
| 2 | | MANO DE OBRA | | | | |
| | 1 | Ayudante de operador | hr | 0.04 | 13.18 | 0.53 |
| | 2 | Capataz 1 | hr | 1.80 | 18.02 | 32.44 |
| | 3 | Operador 1 | hr | 0.82 | 18.02 | 14.78 |
| | 4 | Operador de equipo liviano | hr | 0.08 | 16.44 | 1.32 |
| | 5 | Operador de planta | hr | 0.09 | 23.19 | 2.09 |
| | 6 | Obrero 1 | hr | 0.07 | 12.07 | 0.84 |
| | 7 | Chofer 1 | hr | 0.001 | 15.37 | 0.02 |
| | | | | | SUBTOTAL MANO DE OBRA= | 52.01 |
| | | | | | Cargas Sociales(71.18% de subtotal mano de obra= | 37.02 |
| | | | | | Impuesto al Valor Agregado(14.94 % de subtotal mano de obra + cargas sociales)= | 13.30 |
| | | | | | TOTAL MANO DE OBRA= | 102.32 |
| 3 | | EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | |
| | 1 | Compactador rodillo liso | hr | 0.04 | 303.85 | 10.63 |
| | 3 | Distribuidor de agregados autoprop | hr | 0.03 | 455.03 | 12.74 |
| | 3 | Escoba mecánica autoprop | hr | 0.03 | 71.55 | 2.00 |
| | 4 | Planta de calentamiento de asfalto | hr | 0.09 | 965.00 | 86.85 |
| | 5 | Compactador de rodillo neumático top 10000 | hr | 0.08 | 332.80 | 27.96 |
| | 6 | Terminadora de asfalto | hr | 0.08 | 669.06 | 50.18 |
| | 7 | Cargador frontal de ruedas >950 m3 | hr | 0.03 | 421.29 | 12.64 |
| | 8 | Volqueta >12 m3 | hr | 0.02 | 227.87 | 4.56 |
| | | | | | | 207.56 |
| | | | | | Herramientas menores(5% total de la mano de obra) | 5.12 |
| | | | | | TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO= | 212.68 |
| 4 | | GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVO | | | | |
| | | | | | Gastos generales y administrativos(10.00% de 1+2+3) | 106.24 |
| | | | | | TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS= | 106.24 |
| 5 | | UTILIDAD | | | | |
| | | | | | Utilidad (10% de 1+2+3+4) | 116.86 |
| | | | | | TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS= | 116.86 |
| 6 | | IMPUESTOS | | | | |
| | | | | | Impuesto a las Transacciones (3.09% de 1+2+3+4+5) | 39.72 |
| | | | | | TOTAL IMPUESTOS= | 39.72 |
| | | | | | TOTAL PRECIO UNITARIO(1+2+3+4+5+6)= | 1,325.22 |
| | | | | | PRECIO ADOPTADO: | 1,325 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.65. Análisis de precios unitarios, mezcla con fibra de vidrio

| | | Ítem: TRATAMIENTO SUPERFICIAL | Unidad: m ³ | | | |
|---|----|---|-------------------------|-------|---------------|-----------------|
| | | Proyecto: ANLISIS DE LA FIBRA DE VIDRIO COMO COMPONENTE EN UNA MESCLA ASFALTICA EN CALIENTE PARA EN MATENIMIENTO DE CARRETERAS | Fecha: 28/ago/2020 | | | |
| | | Módulo : CONFORMACION DEL PAQUETE ESTRUCTURAL | Tipo de cambio: 6.96 | | | |
| N° | P. | Descripción | Unid. | Cant. | Unit. (Bs) | Parcial (Bs) |
| 1 MATERIALES | | | | | | |
| 1 | | Grava triturada (25%) | m3 | 0.24 | 130.00 | 30.55 |
| 2 | | Gravilla triturada(32%) | m3 | 0.30 | 150.00 | 45.12 |
| 3 | | Arena (43%) | m3 | 0.40 | 125.00 | 50.53 |
| 4 | | Cemento asfáltico convencional 85-100 | kg | 60.00 | 9.73 | 583.80 |
| 5 | | Diésel | lts | 10.00 | 3.74 | 37.40 |
| 6 | | Fibra de vidrio | kg | 6.00 | 18.00 | 108.00 |
| TOTAL MATERIALES | | | | | | 855.40 |
| 2 MANO DE OBRA | | | | | | |
| 1 | | Ayudante de operador | hr | 0.04 | 13.18 | 0.53 |
| 2 | | Capataz 1 | hr | 1.80 | 18.02 | 32.44 |
| 3 | | Operador 1 | hr | 0.82 | 18.02 | 14.78 |
| 4 | | Operador de equipo liviano | hr | 0.08 | 16.44 | 1.32 |
| 5 | | Operador de planta | hr | 0.09 | 23.19 | 2.09 |
| 6 | | Obrero 1 | hr | 0.07 | 12.07 | 0.84 |
| 7 | | Chofer 1 | hr | 0.001 | 15.37 | 0.02 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | | | 52.01 |
| Cargas Sociales(71.18% de subtotal mano de obra | | | | | | 37.02 |
| Impuesto al Valor Agregado(14.94 % de subtotal mano de obra + cargas sociales) | | | | | | 13.30 |
| TOTAL MANO DE OBRA | | | | | | 102.32 |
| 3 EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| 1 | | compactador rodillo liso | hr | 0.04 | 303.85 | 10.63 |
| 3 | | distribuidor de agregados autoprop | hr | 0.03 | 455.03 | 12.74 |
| 3 | | escoba mecánica autoprop | hr | 0.03 | 71.55 | 2.00 |
| 4 | | planta de calentamiento de asfalto | hr | 0.09 | 965.00 | 86.85 |
| 5 | | compactador de rodillo neumático top 10000 | hr | 0.08 | 332.80 | 27.96 |
| 6 | | terminadora de asfalto | hr | 0.08 | 669.06 | 50.18 |
| 7 | | cargador frontal de ruedas >950 m3 | hr | 0.03 | 421.29 | 12.64 |
| 8 | | volqueta >12 m3 | hr | 0.02 | 227.87 | 4.56 |
| | | | | | | 207.56 |
| Herramientas menores(5% total de la mano de obra) | | | | | | 5.12 |
| TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | | | 212.68 |
| 4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVO | | | | | | |
| Gastos generales y administrativos(10.00% de 1+2+3) | | | | | | 117.04 |
| TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMISTRATIVOS | | | | | | 117.04 |
| 5 UTILIDAD | | | | | | |
| Utilidad (10% de 1+2+3+4) | | | | | | 128.74 |
| TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMISTRATIVOS | | | | | | 128.74 |
| 6 IMPUESTOS | | | | | | |
| Impuesto a las Transacciones (3.09% de 1+2+3+4+5) | | | | | | 43.76 |
| TOTAL IMPUESTOS | | | | | | 43.76 |
| TOTAL PRECIO UNITARIO(1+2+3+4+5+6) | | | | | | 1,459.94 |
| PRECIO ADOPTADO | | | | | | 1,460 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.66. Análisis de precios unitarios, mezcla con porcentaje de fibra de vidrio de 0.60% y un contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.42%

| | | Item: TRATAMIENTO SUPERFICIAL | Unidad: m3 | | | |
|----------|----|--|----------------------|-------|---|-----------------|
| | | Proyecto: PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON 0.60% DE FIBRA DE VIDRIO | Fecha: 22/ago/2021 | | | |
| | | Módulo : CONFORMACION DEL PAQUETE ESTRUCTURAL | Tipo de cambio: 6.96 | | | |
| Nº | P. | Descripcion | Und. | Cant. | Unit. (Bs) | Parcial (Bs) |
| 1 | | MATERIALES | | | | |
| 1 | | Grava triturada (25%) | m3 | 0.24 | 130.00 | 30.55 |
| 2 | | Gravilla triturada(32%) | m3 | 0.30 | 150.00 | 45.12 |
| 3 | | Arena (43%) | m3 | 0.40 | 125.00 | 50.53 |
| 4 | | Cemento asfaltico convencional 85-100 | kg | 56.70 | 9.73 | 551.69 |
| 5 | | Fibra de vidrio | kg | 6.00 | 18.00 | 108.00 |
| | | Diesel | lts | 10.00 | 3.74 | 37.40 |
| | | | | | TOTAL MATERIALES | 823.29 |
| 2 | | MANO DE OBRA | | | | |
| 1 | | Ayudante de operador | hr | 0.04 | 13.18 | 0.53 |
| 2 | | Capataz 1 | hr | 1.80 | 18.02 | 32.44 |
| 3 | | Operador 1 | hr | 0.82 | 18.02 | 14.78 |
| 4 | | Operador de equipo liviano | hr | 0.08 | 16.44 | 1.32 |
| 5 | | Operador de planta | hr | 0.09 | 23.19 | 2.09 |
| 6 | | Obrero 1 | hr | 0.07 | 12.07 | 0.84 |
| 7 | | Chofer 1 | hr | 0.001 | 15.37 | 0.02 |
| | | | | | SUBTOTAL MANO DE OBRA | 52.01 |
| | | | | | Cargas Sociales(71.18% de subtotal mano de obra | 37.02 |
| | | | | | Impuesto al Valor Agregado(14.94 % de subtotal mano de obra + cargas sociales) | 13.30 |
| | | | | | TOTAL MANO DE OBRA | 102.32 |
| 3 | | EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIEN | | | | |
| 1 | | compactador rodillo liso | hr | 0.04 | 303.85 | 10.63 |
| 3 | | distribuidor de agregados autoprop | hr | 0.03 | 455.03 | 12.74 |
| 3 | | escoba mecanica autop | hr | 0.03 | 71.55 | 2.00 |
| 4 | | planta de calentamiento de asfalto | hr | 0.09 | 965.00 | 86.85 |
| 5 | | compactador de rodillo neumatico tsp 10000 | hr | 0.08 | 332.80 | 27.96 |
| 6 | | terminadora de asfalto | hr | 0.08 | 669.06 | 50.18 |
| 7 | | cargador frontal de ruedas >950 m3 | hr | 0.03 | 421.29 | 12.64 |
| 8 | | volqueta >12 m3 | hr | 0.02 | 227.87 | 4.56 |
| | | | | | | 207.56 |
| | | | | | Herramientas menores(5% total de la mano de obra) | 5.12 |
| | | | | | TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | 212.68 |
| 4 | | GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVO | | | | |
| | | | | | Gastos generales y administrativos(10.00% de 1+2+3) | 113.83 |
| | | | | | TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMISTRATIVOS | 113.83 |
| 5 | | UTILIDAD | | | | |
| | | | | | Utilidad (10% de 1+2+3+4) | 125.21 |
| | | | | | TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMISTRATIVOS | 125.21 |
| 6 | | IMPUESTOS | | | | |
| | | | | | Impuesto a las Transacciones (3.09% de 1+2+3+4+5) | 42.56 |
| | | | | | TOTAL IMPUESTOS | 42.56 |
| | | | | | TOTAL PRECIO UNITARIO(1+2+3+4+5+6) | 1,419.88 |
| | | | | | PRECIO ADOPTADO | 1,420 |

Fuente: Elaboración propia

Precio de mezcla asfáltica convencional con un porcentaje de C.A de 6% para 1 m³: 1325 Bs.

Precio de mezcla asfáltica con un porcentaje de fibra de vidrio de 0.60% y C.A de 6% para 1 m³: 1460 Bs.

Precio de mezcla asfáltica con un porcentaje de fibra de vidrio de 0.60% y C.A de 5.42% para 1 m³: 1420 Bs.

3.18. Análisis de la Resistencia, económico y medio ambiente, con y sin la fibra de vidrio en la mezcla asfáltica.

3.18.1. Análisis de la Resistencia.

Tabla 3.67. Análisis de resultados resistencia.

| | Porcentaje óptimo de C.A (%). | Porcentaje óptimo de fibra de vidrio (%). | Resistencia | | |
|---|-------------------------------|---|---|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | Estabilidad Marshall Valor de Diseño (Lb) | Densidad máxima (gr/cm ³) | Vacíos de la mezcla (%) |
| Mezcla asfáltica convencional con % óptimo de cemento asfáltico | 6.00 | 0 | 2556.01 | 2.33 | 4.00 |
| Mezcla asfáltica con % de fibra de vidrio y % óptimo de cemento asfáltico | 6.00 | 0.60 | 2582.54 | 2.37 | 4.00 |
| Mezcla asfáltica con % óptimo de cemento asfáltico 5.42% Y con un porcentaje de fibra de vidrio | 5.42 | 0.60 | 3246.62 | 2.25 | 6.820 |

Fuente: Elaboración propia

Análisis.

Realizando tres tipos de mezclas asfálticas, y con los resultados obtenidos la mezcla asfáltica con porcentaje óptimo de cemento asfáltico 5.42% y con un porcentaje de fibra de vidrio de 0.60 tiene una mayor estabilidad de 3246.62 lb. Esto nos indica que la estabilidad mejora unas 690.61 lb con relación a una mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica con un porcentaje 0.60% de fibra de vidrio y con un porcentaje de 6.00% óptimo de cemento asfáltico.

La densidad de 2.25 gr/cm³ disminuye en 0.08 gr/cm³ con relación a una mezcla asfáltica convencional, esto se debe al peso específico de la fibra de vidrio encontrado de 0.43 gr/cm³.

El porcentaje de vacíos de 6.820 % aumenta un 2.82 % con relación a una mezcla asfáltica convencional. Esto se debe a menor cantidad de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica y una mezcla no muy homogénea.

3.18.2. Análisis económico.

Tabla N°3.68. Análisis de resultados económicos.

| Tipos de mezclas realizadas | Porcentaje óptimo de C.A (%) | Porcentaje óptimo de fibra de vidrio (%) | Total precio unitario de 1 m³ de carpeta asfáltica (Bs) |
|--|-------------------------------------|---|---|
| Mezcla asfáltica convencional con % óptimo de cemento asfáltico | 6.00 | 0 | 1325 |
| Mezcla asfáltica con % de fibra de vidrio y % óptimo de cemento asfáltico | 6.00 | 0.60 | 1460 |
| Mezcla asfáltica con % óptimo de cemento asfáltico 5.67% Y con un porcentaje de fibra de vidrio | 5.42 | 0.60 | 1420 |

Fuente: Elaboración propia.

Precio de mezcla asfáltica convencional con un porcentaje de C.A de 6% para 1 m³:1325 Bs.

Precio de mezcla asfáltica con un porcentaje de fibra de vidrio de 0.60% y C.A de 6% para 1 m³: 1460 Bs.

Precio de mezcla asfáltica con un porcentaje de fibra de vidrio de 0.60% y C.A de 5.42% para 1 m³: 1420 Bs.

Análisis.

Con relación al costo de 1 m³ de mezcla asfáltica convencional con un 1 m³ de mezcla asfáltica con un porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 6.00% y con un porcentaje de 0.60% fibra de vidrio el precio es mayor al incorporar la fibra de vidrio a la mezcla asfáltica, con un costo adicional de 135 Bs.

Con relación al costo de 1 m³ de mezcla asfáltica convencional con un 1 m³ de mezcla asfáltica con un porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 5.42% y con un porcentaje de 0.60% fibra de vidrio el precio es mayor al incorporar la fibra de vidrio a la mezcla asfáltica, con un costo adicional de 95 Bs.

3.18.3. Análisis de medio ambiente.

La fibra de vidrio es material compuesto por materiales reciclados que derivan del vidrio por ejemplo botellas ya utilizadas. Es un material 100% reciclable y amigable con el medio ambiente en especial con relación al terreno.

Es un material que al estar en contacto con el agua flota por el poco peso que tiene, podría ser un poco perjudicial si llega a estar en contacto con el agua.

Se la utiliza bastante en la construcción para aislante térmico y acústico. Su manipulación y la forma de uso no generan ruidos en el empleo en una mezcla asfáltica.

Al ser un material liviano y muy delgado y de un color claro puede estar muy fácilmente en el aire si no se tiene cuidado con su manipulación al ser inhalado por un ser humano el cuerpo tarda 3 semanas en descomponerlo.

Al agregar en una mezcla asfáltica no afecta el medio ambiente por ser un material inerte y al contrario gana estabilidad y al ser un material que no le afecta las temperaturas

elevadas donde no cambia su forma ni disminuye su peso puede ayudar a mantener la temperatura de las carpetas asfálticas.

3.19. Factibilidad técnica, económica y ambiental.

3.19.1. Factibilidad técnica.

Se pudo desarrollar la investigación de la fibra como componente en una mezcla asfáltica ya que se cuenta con todos los equipos y materiales. Y conocimientos acerca de los materiales y equipos utilizados. Donde se pudo evidenciar mediante el ensayo de Marshall que agregando fibra de vidrio a una mezcla asfáltica en caliente aumenta su estabilidad. Y que es favorable utilizar este material.

3.19.2. Factibilidad económica.

Precio de mezcla asfáltica convencional 1 m³:1325 Bs.

Precio de mezcla asfáltica con fibra de vidrio 1 m³: 1460 Bs.

Precio de mezcla asfáltica con fibra de vidrio con % de 0.60 y %5.42 de C.A 1 m³:1420 Bs.

Analizando los precios que nos da cada tipo de mezcla y siendo un material accesible que se encuentra en el mercado y además barato se llega a la conclusión de que es favorable económicamente, aunque aumenta el precio con relación a una mezcla convencional; pero también aumentan sus propiedades como la estabilidad esto a la vez es un beneficio a largo tiempo por el menor mantenimientos y carreteras más durables.

3.19.3. Factibilidad ambiental.

La fibra de vidrio es 100% reciclable, no contamina y es un producto inerte tanto para la naturaleza, como para el ser humano.

La fibra de vidrio es un material seguro, también hecho por materiales reciclados que derivan del vidrio por ejemplo: botellas ya utilizadas. Es un material 100% reciclable y amigable con el medio ambiente ya que al emplear o agregar a una mezcla asfáltica no afecta el medio ambiente por ser un material inerte y al contrario gana estabilidad y al ser

un material que no le afecta las temperaturas elevadas donde no cambia su forma, ni disminuye su peso puede ayudar a mantener la temperatura de las carpetas asfálticas.

3.20. Análisis de las ventajas y desventajas del uso de la fibra de vidrio.

Tabla N° 3.69. Ventajas y desventajas.

| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Es un material muy liviano con mucho volumen y poco peso. - Es resistente a ataques químicos y ayuda a proteger la carpeta asfáltica. - Mejora las propiedades (estabilidad) de una mezcla asfáltica convencional. - Es amigable con el medio ambiente ya que es un material 100% reciclable al ser inerte. - La fibra de vidrio es económica y se encuentra en el mercado local en gran cantidad por lo cual se puede adquirir muy fácilmente. - Es un material que no sufre alteraciones de cambio de peso ante temperaturas elevadas por debajo de los -0°C y por encima de los 180°C. - Esta mezcla se puede aplicar en cualquier clima ya sea frío templado o cálido. | <ul style="list-style-type: none"> - Es un material un poco tóxico para el cuerpo humano se por error se injiere al no estar equipado correctamente para su manipulación. - Es poco manipulable si no se tiene el equipo de seguridad adecuado (guantes de cuero, overol, gafas de seguridad y barbijo). - El proceso de mezclado entre la fibra de vidrio y la mezcla asfáltica en muy largo y complicado si se quiere tener una mezcla homogénea. proceso de mezclado de 8 a 10 minutos. |

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IV

Conclusiones y recomendaciones

Capítulo IV

Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones.

- Se realizó la caracterización de los agregados y cemento asfáltico dando como conclusión que el agregado y el cemento asfáltico cumplen con las especificaciones técnicas.
- Se hizo la dosificación y compactación de las briquetas para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico igual a 6% y el contenido óptimo de fibra de vidrio según la siguiente tabla:

Tabla.4.1. Contenido óptimo de fibra de vidrio.

| Propiedad | Valor según ecuación | % de Fibra de vidrio | % Óptimo de Fibra de vidrio |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Estabilidad máxima (Lb) | 2582.54 | 0.62 | 0.60 |
| Densidad máxima (gr/cm ³) | 2.37 | 0.33 | |
| Vacíos de la mezcla mínimo (%) | 3.99 | 0.70 | |

Fuente: Elaboración propia.

Donde se observa que a partir de criterios de estabilidad máxima, densidad máxima y vacíos de la mezcla mínima, resultan un contenido de fibras de 0.62, 0.33 y 0.70 respectivamente, y aplicando el criterio Marshall de promediar los tres valores, resulta el contenido óptimo de fibra de vidrio igual al 0.60%.

- Con los valores óptimos de cemento asfáltico y fibra de vidrio, se logra realizar 15 briquetas para aplicar la estadística descriptiva, en este caso el parámetro más relevante es la estabilidad, y se observa que la estabilidad máxima obtenida es 3148.91 lb y la mínima es 2114.69 lb con una confiabilidad del 95%, lo cual me indica que ambos extremos cumplen la norma de 1800 lb mínimo, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla.4.2. Estadística aplicada a la Estabilidad.

| | | | | |
|-------------|---|-----------------|-----------|--------|
| Estabilidad | Media | | 2804.70 | 182.13 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 2299.02 | |
| | | Límite superior | 3310.37 | |
| | Media recortada al 5% | | 2823.91 | |
| | Mediana | | 2896.38 | |
| | Varianza | | 165854.98 | |
| | Desv. Desviación | | 407.25 | |
| | Mínimo | | 2114.69 | |
| | Máximo | | 3148.91 | |
| | Rango | | 1034.22 | |
| | Rango intercuartil | | 635.71 | |
| | Asimetría | | -1,68 | 0.91 |
| | Curtosis | | 3.11 | 2.00 |

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo al análisis general en sus propiedades físico-mecánicas se concluye que si le incorporamos a la mezcla convencional fibra de vidrio sus propiedades son diferentes y permiten mejorar la mezcla asfáltica.
- Del análisis de precios unitarios se tiene que va aumentando el costo por m³ de carpeta asfáltica por el costo de la fibra de vidrio teniendo un costo adicional de 9 % con un porcentaje de 0.60% de fibra de vidrio comparado con el costo de una mezcla convencional.
- Es muy remendable la mezcla asfáltica con fibra de vidrio en mantenimientos en un mantenimiento de rutina de carreteras y en diseño de carpetas asfálticas para un tráfico liviano, medio y pesado.
- Se recomienda el empleo de esta mezcla para el mantenimiento de rutina en bacheos por ser una mezcla que contiene pequeñas fibras de vidrio ya que estas ayudaran a una mayor fijación con la mezcla antigua.

4.2. Recomendaciones.

- Tener cuidado en la caracterización de los materiales, agregados y cemento asfáltico, para así evitar obtener datos erróneos al momento de obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico.
- Tomar en cuenta el tipo de fibra de vidrio a utilizar, porque las características de material varían una de otra.
- Seguir procedimientos de seguridad antes de realizar el dosificado y compactado de la mezcla asfáltica, utilizando guantes, barbijo, y lentes de seguridad para que los gases que emiten la mezcla, no sean perjudiciales a la salud.
- Cuidar la temperatura y realizar una mezcla homogénea, para evitar que se quemé el asfalto y pierda sus propiedades físicas y mecánicas.
- No perder la temperatura al contacto del medio ambiente y los artículos que se usa para vaciar al molde previamente calentado, y no generar zonas frías en la mezcla asfáltica.
- Golpear con el martillo compactador a una velocidad y altura constante debido a que el ensayo Marshall es una práctica pulcra y un error puede hacer fallar los resultados.
- No sobrecalentar varias veces el cemento asfáltico debido a que pierde sus propiedades.
- Tener mucho cuidado en la ruptura por Marshall y evitar tomar lecturas erróneas.
- Calentar a temperatura constante los agregados pétreos y los moldes de las briquetas, para obtener mejores resultados.
- Siempre se desea que haya una mejora continua del mismo, por lo tanto, se recomienda a futuros compañeros que tengan interés en el proyecto, la complementación con la optimización de procesos para realizar un equilibrio técnico y económico entre una mezcla convencional y una con fibra de vidrio al 0.60%, teniendo como base que las mezclas asfálticas con fibra de vidrio tienen una mayor estabilidad, densidad y menos porcentajes de vacíos. Pero el tiempo de mezclado es mucho mayor que en una mezcla asfáltica convencional. Al querer ganar una homogeneidad se tarda mucho en distribuir la fibra de vidrio en la mezcla

mientras mayor es el porcentaje de fibra de vidrio más se tarda en mezclar y menos se distribuye la fibra de vidrio en la mezcla asfáltica.

- Propuesta de adherencia entre la carpeta deteriorada con la nueva mezcla asfáltica con la fibra de vidrio, después de realizar el encuadre se pone a los bordes riego de liga 70/30.