

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Introducción

Los pavimentos asfálticos son las principales obras de ingeniería más importante en nuestra región, por tanto estas sufren deterioros destructivos por agentes climatológicos por fuerzas externas no incluidas en su diseño. Por tanto nace la necesidad de buscar nuevas alternativas basándose en las especificaciones técnicas, comparar las propiedades físico-mecánicas, que nos permita visualizar ventajas y desventajas de cada material.

En la actualidad se realizan estudios avanzados con el asfalto modificado, con polímeros vírgenes provenientes de las petroquímicas como el polipropileno (PP), también llamado propeno, es un hidrocarburo con tres átomos de carbono y un doble enlace cuya fórmula es  $H_2C=CH-CH_3$ . Por polimerización del propileno se obtiene polipropileno, polímero que por sus propiedades entra dentro de la categoría de los termoplásticos, que dan características plásticas al asfalto modificado, brindando mayor resistencia a la adherencia entre los áridos.

En el trabajo de investigación se pretende comparar el comportamiento de los polímeros en las mezclas asfálticas convencionales y como estas responden en las propiedades mecánicas independientemente. Además de ello se podrá observar los cambios producidos en las mezclas asfálticas por diferentes polímeros, la aplicación práctica será una posible alternativa en el campo de los asfaltos para prever cuidados del tráfico automotor y poder ampliar el conocimiento, la relevancia social orientada sobre el tema se observará sobre qué tipo de asfalto brinda un mejor comportamiento o se puede clasificar, a qué tipo de especificaciones técnicas se ajusta, nuestro departamento requiere alternativas en asfaltos modificados, teniendo en cuenta la variedad del clima que ocasionan cambios bruscos en temperatura.

## **1.2 Justificación**

La constante búsqueda del hombre por mejorar la vida útil de los pavimentos y las condiciones de tránsito de las vías y donde el uso de asfaltos convencionales para calles y avenidas de nuestra región son de uso tradicional, donde estas metodologías no responden de manera eficiente y con el fin de conocer una amplia visión académica y que aporte a la sociedad, se realiza un estudio de la fibra de polipropileno y de las mezclas asfálticas modificadas que son ampliamente estudiados en países como el Perú, Colombia y donde estos materiales actualmente son de gran estudio en las obras viales. Los estudios de los polímeros con distintas composiciones pueden responder e influir en sus características mecánicas en la cual como investigadores observaremos los cambios y valoraremos el rendimiento de cada material.

El trabajo de investigación es pertinente a través del enfoque comparativo, donde las mezclas asfálticas sometidas a esfuerzos a través del equipo Marshall nos brindará información sobre el comportamiento de los asfaltos modificados, donde se analizará las ventajas y desventajas de las mezclas asfálticas modificadas con betuflex y mezclas asfálticas modificadas adicionadas con fibra de polipropileno artesanalmente, su relevancia influirá en la aplicación de asfaltos modificados en nuestras vías, brindando mejores propiedades mecánicas a nuestras vías. Acotando la perspectiva de investigación, la finalidad de este proyecto es conocer la estabilidad, fluencia y porcentaje de vacíos a través del equipo Marshall, donde se empleará la respectiva caracterización de las mezclas asfálticas modificadas empleando las respectivas normas, con el fin de dar un análisis comparativo.

Para realizar el análisis comparativo de las mezclas asfálticas modificadas la disposición de los recursos e insumos se facilitaron a través de las instituciones gubernamentales y distribuidoras dentro del país.

## **1.3 Diseño teórico**

### **1.3.1 Planteamiento del problema**

#### **1.3.1.1 Situación problemática**

La comparación técnica de las propiedades en mezclas asfálticas modificadas, define la valoración, ventajas y desventajas, en función a sus componentes, como el asfalto convencional donde la comparación es una respuesta a la selección de mezclas asfálticas.

Actualmente en nuestra región las vías no ofrecen las condiciones de comodidad, seguridad y confort, debido a los problemas por deterioros, corrosiones y fallas en capas estructurales por acción de agentes naturales o esfuerzos no previstos, en este sentido los ingenieros tienen la capacidad de sustituir diversos materiales con el fin de mejorar esas deficiencias usando técnicas de comparación de las propiedades asfálticas.

En este sentido un análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre mezclas asfálticas modificadas con betuflex como referencia y mezclas modificadas con fibra de polipropileno establecerán la identificación de ventajas y desventajas.

#### **1.3.1.2 Problema**

¿Cómo analizo las mezclas asfálticas modificadas con betuflex y modificadas con fibra de polipropileno, para establecer una comparación entre los comportamientos de sus propiedades mecánicas?

### **1.3.2 Objetivo de la investigación**

#### **1.3.2.1 Objetivo general**

Comparar las propiedades físico-mecánicas en mezclas asfálticas modificadas con betuflex y otras modificadas con fibra de polipropileno, a través de equipos estandarizados como ser el Marshall, con el fin de obtener valores representativos para su respectiva valoración.

### 1.3.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los métodos de ensayo requeridos en el diseño y medición de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.
- Identificar las diferencias que existe entre las mezclas asfálticas modificadas con betuflex y modificadas con fibra de polipropileno.
- Diseñar las mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall haciendo variar cantidades de asfalto modificado respecto a otro asfalto modificado con adición de fibra de polipropileno.
- Determinar los valores de las propiedades mecánicas tales como: estabilidad, fluencia, % de vacíos y densidad de las mezclas asfálticas calientes.
- Comparar las propiedades mecánicas de ambas mezclas asfálticas modificadas a partir de los resultados que se obtengan de las pruebas en laboratorio.

### 1.3.3 Hipótesis

Si modifico mezclas asfálticas con betuflex y otras con fibra de polipropileno, entonces podré comparar sus propiedades mecánicas haciendo variar sus porcentajes de aplicación, para definir la mezcla asfáltica modificada más óptima técnicamente.

### 1.3.4 Definición de las variables

#### 1.3.4.1 Variables independientes

$X_1$  = Porcentaje de betuflex 60/85 E

$X_2$  = Porcentaje de la fibra de polipropileno

#### 1.3.4.2 Variables dependientes

$Y_i$  = Propiedades físico-mecánicas Marshall: Propiedades volumétricas, estabilidad, fluencia, densidad, porcentajes de vacíos, V.A.M, R.B.V.

## **1.4 Diseño metodológico**

### **1.4.1 Métodos y técnicas empleadas**

#### **1.4.1.1 Definición, selección y elaboración de los métodos y técnicas**

El método que se utilizará para esta investigación será correlacional porque elegiremos nuestras muestras que serán utilizadas para los diferentes tipos de mezclas asfálticas modificadas, donde evaluaremos y estudiaremos las propiedades mecánicas de cada una de las mezclas como el betuflex y con la adición de fibra depolipropileno, se estudiará los ensayos necesarios para la caracterización de la mezcla asfáltica caliente. La investigación correlacional es un tipo de método de investigación no experimental en el cual un investigador mide dos variables o más variables.

#### **1.4.1.2 Técnicas de muestreo**

Para la siguiente investigación la técnica de muestreo que se utiliza es la experimental ya que se lo llevara a cabo dentro de un laboratorio, donde se realizaran los respectivos ensayos para la elaboración de las mezclas asfálticas modificadas con betuflex, y con adición de fibra de polipropileno. Para la presente investigación realizaremos las siguientes prácticas y utilizaremos los diferentes instrumentos que serán utilizados para dicho estudio:

##### **1.4.1.2.1 Ensayos a realizar para los agregados**

Granulometría (ASTM C-71).

El análisis granulométrico es el conjunto de operaciones cuyo fin es determinar la distribución del tamaño de los elementos que componen una muestra.

La distribución del tamaño de las partículas es la representación, en forma de tablas números o gráficos, de los resultados obtenidos experimentalmente.

Equivalente de la arena y agregados finos (ASTM D 2419).

El ensayo determina la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo.

Abrasión de agregados grueso máquina de los ángeles (ASTM C-131).

Esta prueba se aplica para averiguar la calidad estructural del agregado grueso. Este método establece el procedimiento a seguir para determinar el desgaste, por abrasión, del agregado grueso, menor de 1½" (38 mm), utilizandola máquina de los ángeles.

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

Con este método nos permite determinar los pesos específicos aparentes y nominales, así como la absorción, después de 24 horas de estar sumergidos en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz N° 4).

#### **1.4.1.2.2 Ensayos a realizar para el cemento asfáltico**

Ensayo de penetración (ASTM D-5).

Este método lo utilizamos para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos y se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración que indican consistencias más blandas.

Ensayo de ductilidad (ASTM D-113).

Este método de ensayo describe el procedimiento para determinar la ductilidad de materiales bituminosos por la distancia que esta se alargará antes de romperse cuando los dos extremos de una briqueta de muestra sean separados en dos partes.

Ensayo de punto de inflamación (ASTM D-92).

Este ensayo consiste en determinar el punto de inflamación a una determinada temperatura, calentando gradualmente una muestra de cemento asfáltico en una copa de latón, mientras se está aplicando una pequeña llama sobre la superficie de muestra.

Ensayo punto de ablandamiento (ASTM D-36).

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

#### Ensayo viscosidad Saybolt Furol (ASTM D-88)

Se mide el tiempo para un volumen fijo de líquido que fluye a través de una vena de un viscosímetro de vidrio, calibrado bajo una altura de carga exactamente reproducible y a una temperatura estrictamente controlada. La viscosidad cinemática se calcula entonces multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

#### Ensayo de peso específico (ASTM D-70).

Este método determina el peso específico del cemento asfáltico mediante el uso del picnómetro.

#### Ensayo de la película delgada (ASTM D 1754).

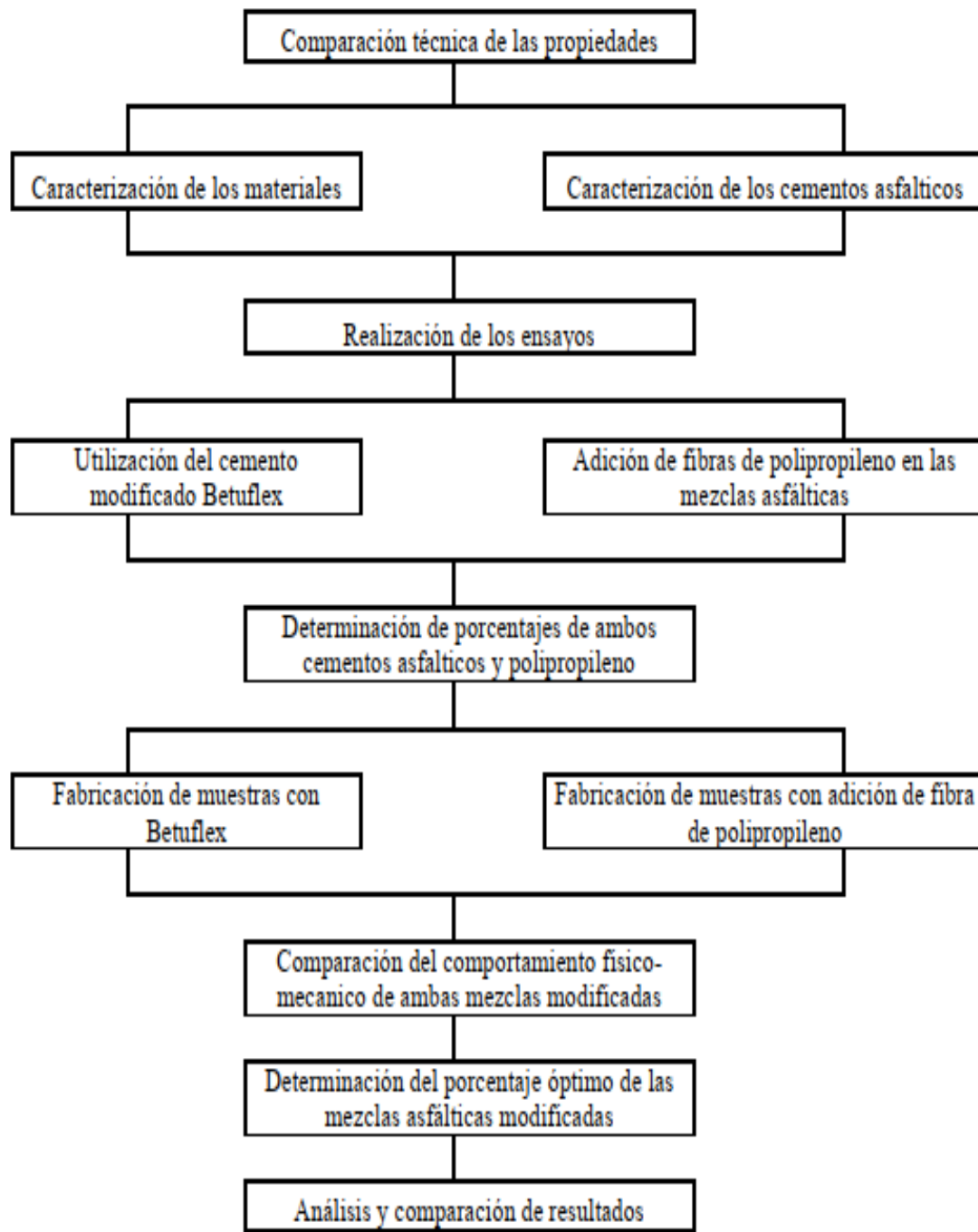
Este método describe un ensayo para determinar el efecto del calor y aire sobre materiales asfálticos semisólidos.

#### Ensayo de estabilidad y fluencia método Marshall (ASTM D-1559).

En este ensayo consiste en conocer la estabilidad y la fluencia, cómo las deformaciones, donde de las probetas sacamos del pavimento y mediante un proceso se utilizara la prensa Marshall, dónde posteriormente se harán lecturas para evidenciar los efectos que se produjeron al aplicar dichas fuerzas.



### 1.4.1.3 Procedimiento de aplicación



Fuente: Elaboración propia

#### **1.4.1.4 Metodología de la práctica**

El estudio se iniciará con la selección de los materiales (agregados, asfaltos, fibra de polipropileno). La fibra de polipropileno la obtendremos de la zona de Tarija ubicada por la avenida La Paz en una sucursal de SIKA GEINCO de gestión ingeniería y construcciones.

Los agregados triturados serán obtenidos de la planta de agregados ubicada en la comunidad de San Mateo llamada Garzón perteneciente al departamento de Tarija, donde también queda aclarar que el cemento asfáltico convencional 85-100 y el cemento asfáltico modificado betuflex 60/85E se obtendrá del servicio departamental de caminos (SEDECA).

Luego se realizará la caracterización de cada uno de nuestros materiales (agregados, asfaltos), seguidamente procederemos a la elaboración de las briquetas con diferentes mezclas asfálticas modificadas con betuflex y adición con fibras de polipropileno para determinar el porcentaje óptimo de ambas mezclas asfálticas mediante el método Marshall.

En la realización de las probetas con mezclas asfálticas adicionadas con fibra de polipropileno se elaborarán con diferentes porcentajes iniciando con 0% de fibra de polipropileno como dato patrón que varían desde (0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%) con adición de polipropileno y con porcentajes de cemento asfáltico, convencional 85-100 que varían ( 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%) donde se realizaran 3 ensayos para cada variación de porcentajes, es decir que en total realizaremos 90 probetas adicionadas con fibra de polipropileno, donde luego se realizara probetas con mezcla asfáltica modificada con betuflex con porcentajes que varían ( 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%) donde se realizaran 3 ensayos para cada variación de porcentajes, es decir que en total realizaremos 15 probetas que nos servirán de comparación , haciendo un total de 105 probetas para poder establecer estabildades, fluencias, densidades, V.A.M, R.B.V, con el objeto de determinar el porcentaje óptimo de cada mezcla asfáltica modificada que deben ser cumplidos durante la elaboración de cada una de nuestras mezclas asfálticas.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo del asfalto para cada una de las combinaciones específicas de los agregados, donde realizaremos un análisis comparativo de ambas mezclas asfálticas modificadas para nuestra investigación, y llegar a nuestras conclusiones y recomendaciones para nuestro proyecto.

## **1.4.2 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información**

### **1.4.2.1 Análisis estadístico**

Para la obtención de los cálculos que se requieren mostrar en la investigación nos ayudamos de fórmulas estadísticas, donde la estadística es el estudio de varios métodos que nos ayuda a reunir, clasificar, presentar y describir a un conjunto de datos.

Se asume que es descriptivo el estudio de un conjunto de datos, cuando simplemente se analizan los datos, donde según la norma ASTM para un trabajo de investigación se debe realizar el análisis con un tamaño mínimo de 30 muestras.

La media aritmética

En la práctica la media de posición de mayor uso y más conocidos es la media aritmética, a la media aritmética se la conoce directamente como media o promedio, la media aritmética es una medida de tendencia central.

De un conjunto de datos  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ , de una variable o característica  $X$ , se denomina  $\bar{x}$  a su media aritmética y se define como la suma de todos los valores observados en la muestra, dividida entre el número total de datos  $n$ .

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

La moda

Otra medida de posición de amplio uso es la moda, que sin imaginarlo se usa frecuentemente.

En un conjunto de datos  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  de tamaño  $n$ , de una variable o característica  $X$ , la moda se define como el valor que ocurre con mayor frecuencia, se denota por  $Mo(x)$ . En algunos conjuntos de datos, la moda puede no existir, o no ser única en otros casos.

La varianza

Es la principal medida de dispersión es la más precisa y de mayor uso, en especial su uso es más amplio en la estadística inferencial.

Dependiendo de si los datos corresponden a una población o a una muestra, se obtendrán la varianza poblacional o la varianza maestra, cuyas definiciones son ligeramente diferentes. La varianza de una población o varianza poblacional se designa por  $\sigma^2$  (Sigma cuadrado), la varianza de una muestra o varianza muestral se designa por  $s^2$ .

Para una ordenación de datos:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ . La varianza se calcula como:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \mu)^2}{N} = \frac{\sum (X - \mu)^2}{N}$$

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza de la población

$X_j$  = Término del conjunto de datos.

$\mu$  = Media de la población.

$n$  = Tamaño de la población.

$$s^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{n \sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n - 1)}$$

Donde:

$s^2$  = Varianza maestra

$X_j$  = Término del conjunto de datos

$\bar{X}$  = Media de la muestra.

$n$  = Tamaño de la muestra.

### Desviación estándar

Con base en la varianza, otras medidas de dispersión son la desviación estándar, o desviación típica, que según se trabaje con una población o con una muestra, se obtendrán la desviación estándar poblacional o la desviación estándar maestra, cuyas definiciones son ligeramente diferentes. La desviación estándar de una población se designa por  $\sigma$  (sigma). La desviación estándar de una muestra se designa por  $S$ . Son las raíces cuadradas de las varianzas de una población o muestra respectivamente:

Para una ordenación de datos:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ . La desviación estándar se calcula por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \mu)^2}{N}} = \sqrt{(X - \mu)^2}; \quad N = \sum_{j=1}^k f_j$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{(X - \bar{X})^2}; \quad n = \sum_{j=1}^k f_j$$

Donde:

$(\sigma)$  = Desviación estándar poblacional.

$(s)$  = Desviación estándar muestral

$X_j$  = Valor de la variable.

$\mu$  = Media poblacional.

$\bar{X}$  = Media muestral.

$N$  = Tamaño de la población y muestra.

### Coefficiente de variación

Se llama también coeficiente de dispersión es una medida de dispersión relativa, permite efectuar comparaciones entre diversos conjuntos de datos que no necesariamente poseen la misma frecuencia total (número total de datos).

Para un conjunto de datos, se llama coeficiente de variación al cociente de la desviación estándar muestral entre su media aritmética:

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} * 100$$

Este coeficiente se expresa en porcentaje al multiplicarse por 100. Se considera que un coeficiente de variación menor a 50 % significa baja dispersión, es decir que la media aritmética es una buena representación de un conjunto de datos. Si es mayor al 50% significa alta dispersión, la media aritmética en tal caso no es una buena representación.

Además de los anteriores parámetros estadísticos se realizara un análisis estadístico del error aplicando el programa Excel para obtener los grados de error y confiabilidad de los resultados.

### **1.4.3 Alcance de la investigación**

La investigación es tipo experimental con diseño cuasi-experimental, porque los grupos experimentales son asignados o impuestos y para recién proceder al desarrollo metodológico.

En el presente estudio se impone un análisis comparativo de una mezcla asfáltica modificada respecto a otra mezcla asfáltica modificada adicionando con fibras de polipropileno (pp), como un experimento.

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 Antecedentes del asfalto

Él término asfalto, se deriva del vocablo acadio asphatu o asphallo, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente fue adoptado por los griegos como adjetivo cuyo significado es estable, seguro y al verbo estabilizar o asegurar, de donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos. Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt).

Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre.

A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dió lugar al aumento en el consumo de este. Fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones.

Tabla 2.1: Historia del asfalto

Año	Uso
6000 a. C.	En sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babeles una de las tantas construcciones en donde se utilizó cómo mortero.
3200- 2600 a. C.	Utilizado por los egipcios para impermeabilizar.
	Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de pavimentos.
300 a. C.	Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamamientos.
1802 d. C.	En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.



1838 d. C.	En Philadelphia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.
1870 d. C.	Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E. J. De Smedt, químico belga.
1876 d. C.	Construcción del primer pavimento de tip sheet asphalt en Washington D. C. con asfalto de lago importado.
1902 d. C.	En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles al año.

Fuente: Conferencia: Esquema actual y futuro de producción de asfaltos en pemex refinación. Ing.: Jorge Rodríguez

## 2.2 Mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonado, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua, por tanto se fabrican en unas centrales fijas móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemeret al., 2004).

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

Se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más usuales las mezclas densas en caliente la cual será parte de la investigación. 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.

### **2.2.1 Clasificación de las mezclas asfálticas**

Las mezclas asfálticas se clasifican sobre la base de diversos factores:

Por el o forma como se preparan

- Mezcla en sitio
- Mezcla en planta

Por la temperatura de mezclado

- Mezcla en frío
- Mezcla en caliente

Por su estructura interna

- Mezclas abiertas
- Mezclas cerradas

### **2.2.2 Mezcla en sitio**

Son las que se preparan mezclando el agregado pétreo preestablecido con un asfalto diluido en el mismo lugar (en el camino o en una cancha auxiliar) luego distribuidas y compactadas.

El asfalto diluido empleado (generalmente MC o SC) se calienta a temperatura del orden de los 60-70 °C, se lo riega sobre el agregado pétreo, se realiza el mezclado con moto niveladora, se deja evaporar el solvente, se distribuye y finalmente se compacta.

### **2.2.3 Mezcla en planta**

Como su nombre lo dice, son mezclas que se elaboran en planta central la cual está dotada de un mecanismo para dosificar los materiales, componentes (agregado pétreo y asfaltos).

#### **2.2.4 Mezcla en frio**

Son preparadas en sitio o en planta y se llaman frio porque ni los agregados ni el asfalto empleado (diluido o emulsionado) son calentados a altas temperaturas como es el caso de las mezclas en caliente.

En el sentido estricto de la palabra, las mezclas asfálticas en frio no se preparan “en frio” si no en “tibio” ya que el asfalto y los agregados son calentados a temperaturas intermedias (60-80°C).

#### **2.2.5 Mezcla en caliente**

Estas mezclas son las más importantes en la tecnología vial, con ellas se construyen capas asfálticas llamadas concretos asfálticos de alta capacidad portante como integrante del paquete estructural de un pavimento flexible sea como base o como capa de rodadura.

Su elaboración necesariamente debe realizarse en una planta asfáltica que permita el calentamiento de los áridos, su clasificación por tamaños, el calentamiento del filler, el calentamiento del cemento asfáltico, la dosificación por peso o por volumen y el mezclado de los componentes de la mezcla, de manera que esta responda al diseño previo efectuando en el laboratorio.

La mezcla producida tiene una temperatura comprendida entre 150 y 163°C y debe ser colocada y compactada a temperaturas superiores a los 110°C a fin de alcanzar la densidad y la estabilidad requerida.

#### **2.2.6 Mezclas abiertas**

Son las mezclas asfálticas que tienen porcentajes de vacíos mayores al 5%

#### **2.2.7 Mezclas cerradas**

Son las mezclas cuyos vacíos en su masa son inferiores al 5%

## **2.3 Mezclas asfálticas modificadas**

La modificación del asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito.

Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, mejoran el comportamiento reológico de los mismos. Se puede decir que un asfalto modificado es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de los polímeros con un ligante asfáltico. Un asfalto puede modificarse con rellenos minerales, cauchos, elastómeros, plastómeros. Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según la temperatura a la que se encuentren; es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se denomina susceptibilidad térmica, la cual deberá ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos, cargas, sean lo suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas, sean resistentes a las deformaciones.

### **2.3.1 Modificación de asfalto con elastómero**

La modificación de asfalto consiste en la adición de polímeros a un asfalto convencional con la interacción de mejorar sus propiedades físico-químicas, su uso en pavimentos conlleva a mejorar el desempeño y a alargar el tiempo de vida de los mismos. Los procesos de modificación de asfaltos con polímeros sintéticos fueron patentados en 1943 sin embargo, en la década de los 30 ya existía proyectos prueba en Europa. De los diferentes materiales poliméricos, los elastómeros son los polímeros más compatibles con el asfalto, en la presente revisión bibliográfica se muestra los elastómeros más utilizados en la modificación de betunes, así como una comparación de la mejora de propiedades obtenidas con el uso de estos.

La modificación de asfaltos es una técnica que consiste en la adición de polímeros a un asfalto convencional con el propósito de cambiar sus propiedades físico-químicas. “La

incorporación de un polímero adecuado modifica la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la mejora obtenida en el comportamiento visco-elástico” (Belmonte, 2015).

Actualmente existe diferentes tipos de polímeros que son utilizados para la modificación de asfalto dando buenos resultados en propiedades mecánicas como los. “Elastómeros, también conocidos como cauchos, son polímeros que se comportan como termofijos cuando adquieren una estructura parcialmente reticulada mediante proceso de vulcanización” (Belmonte, 2015). Su composición macromolecular brinda una mejora en su comportamiento elástico.

#### **2.4 Diseño de una mezcla asfáltica**

El objetivo principal del diseño mezclas asfálticas, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla asfáltica.

Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable, que tenga una buena estabilidad que satisfaga las demandas de transito sin que produzca deformaciones y desplazamientos, donde los vacíos sean lo suficiente altos, para permitir una ligera cantidad de compactación, bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que ocasione exudación.

El diseño de una mezcla adecuada, es generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios, donde se han desarrollado algunos métodos de proporcionamiento de asfalto y agregado para una mezcla asfáltica en caliente, siendo el más conocido el método Marshall.

Nota: En la elaboración de las mezclas asfálticas modificadas con betuflex 60/85E se empleará el mismo método que la convencional ya que este asfalto modificado es modificado por la empresa stratura asfalto de industria brasilera.

### **2.4.1 Diseño de una mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno**

De esta manera se puede observar en Bolivia en una escala menor que en otras partes del mundo, el ingreso de aplicaciones en los pavimentos con estructuras modificadas desde la estructura de pavimento como en su capa de rodadura, hallando un buen aliado en los polímeros ya que aportan para mejorar aspectos que alargan la vida de operación de un proyecto vial.

Los polímeros se pueden clasificar en dos grandes grupos: termoendurecibles y termoplásticos. Los primeros no se utilizan para modificar asfaltos porque son materiales que a altas temperaturas se descomponen o degradan sus propiedades. Los termoplásticos, por el contrario, son utilizados para modificar asfaltos ya que pueden ser sometidos a altas temperaturas sin que se degraden demasiado sus propiedades. Los termoplásticos a su vez se subdividen en dos clasificaciones: elastómeros y plastómeros. Los tipos de elastómeros más utilizados para modificar asfaltos son los cauchos naturales como el estireno-butadieno-estireno (SBS), cauchos sintéticos derivados del petróleo (estireno-butadieno-caucho, SBR) y el grano de llanta reciclado y triturado (GCR). Dentro de la gama de los plastómeros se encuentran entre otros: el polietileno de alta y baja densidad (PEAD, PEBD), polipropileno (PP), Poliestireno (PS) y el Policloruro de vinilo (PVC).

## **2.5 Materiales**

La fibra de polipropileno usado en el estudio fue proporcionada por una empresa distribuidora SIKA GEINCO gestión ingeniería y construcción en la ciudad de Tarija. Con lo cual el material adquirido es aplicable para usos de carreteras y pavimentos donde proporcionan durabilidad, reduce agrietamientos y fisuraciones, donde su presentación es de 600gr cada bolsa.

Los requisitos para la aplicación del polipropileno es que cumple con las normas ASTM C1116 y con ISO 9001, además que tiene una gravedad específica de 0.91 y textura clara y totalmente pura requerida para el diseño de la mezclas asfálticas.

### **2.5.1 Polipropileno (PP)**

La gran versatilidad de este material se debe a su estructura química y disposición espacial, que le confieren un gran número de cualidades deseables. Se trata del polímero comercial de menor densidad, posee una excelente resistencia química, buenas propiedades eléctricas derivadas de su polaridad, inercia química y biológica, alta estabilidad térmica, es de fácil procesamiento y admite ser reciclado. Sin embargo, el PP posee ciertas desventajas que limitan su aplicación en altas prestaciones. Estas limitaciones se deben a su baja tenacidad a la fractura especialmente cuando es solicitado a bajas temperaturas y en condiciones de impacto.

El polipropileno es un termoplástico que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión. El polipropileno se puede clasificar en tres tipos (homopolímero, copolímero, rándom y copolímero de alto impacto), los cuales pueden ser modificados y adaptados para determinados usos.

### **2.5.2 Características del polipropileno**

El polipropileno (PP), es un polímero termoplástico de gran consumo y su aplicación han crecido significativamente debido a que es un polímero muy versátil, es decir, posee gran capacidad para ser modificado y diseñado para distintas aplicaciones específicas. Debido a su comportamiento térmico y geológico, cuando se encuentra fundido, puede ser procesado en un amplio intervalo de condiciones que van desde el moldeo por inyección hasta el soplado. Su baja densidad en el mercado, tanto por sus propiedades mecánicas como por su baja relación costo/volumen. Los productos de polipropileno poseen una mayor flexibilidad y simplicidad para el reciclado, debido a su alta resistencia química y medio ambiental, y su baja densidad que favorece la separación de otros materiales.

Versatilidad: compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento existentes y usado en diferentes aplicaciones comerciales, industria, automotriz, textiles, medicina, tuberías, etc.

Buena procesión: es el material plástico de menor peso específico ( $0,9\text{g/cm}^3$ ), lo que implica que se requiere de una menor cantidad para la obtención de un producto terminado.

Barrera al vapor de agua: evita el traspaso de humedad, tiene buenas propiedades químicas de resistencia y transparencia.

Figura N° 2.1: Fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

### 2.5.3 Propiedades

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas del polipropileno le permiten ser aplicado en una amplia variedad de productos formados mediante procesos de extrusión o de inyección. El polipropileno (PP) es una poliolefina que se sintetiza mediante catálisis a partir del polipropileno para formar un homopolímero o copolímero con otras olefinas



#### Propiedades físicas:

- La densidad del polipropileno, está comprendida entre 0.90 y 0.93gr/cm<sup>3</sup>.
- Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros.
- Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos..
- Posee una gran capacidad de recuperación elástica.
- Tiene una excelente compatibilidad con el medio ambiente
- Es un material fácil de reciclar.
- Posee alta resistencia al impacto.

#### Propiedades químicas:

- Tiene naturaleza apolar, y por esto posee gran resistencia a agentes químicos.
- Presenta poca absorción de agua; por lo tanto, no presenta mucha humedad.
- Tiene gran resistencia a soluciones de detergentes comerciales.
- El polipropileno como los polietilenos tiene una buena resistencia química pero una resistencia débil a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).
- Punto de Ebullición de 320°F (160°C)
- Punto de Fusión (más de 160°C)

### **2.6 Comportamiento de las mezclas asfálticas**

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

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral

### **2.6.1 Contenido de asfaltos densidad de las mezclas**

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

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

### **2.6.2 Vacíos de aire, o simplemente vacíos**

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 a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestra de laboratorio) para capas de base y capas superficiales esta entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función de contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menos va ser la permeabilidad 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.

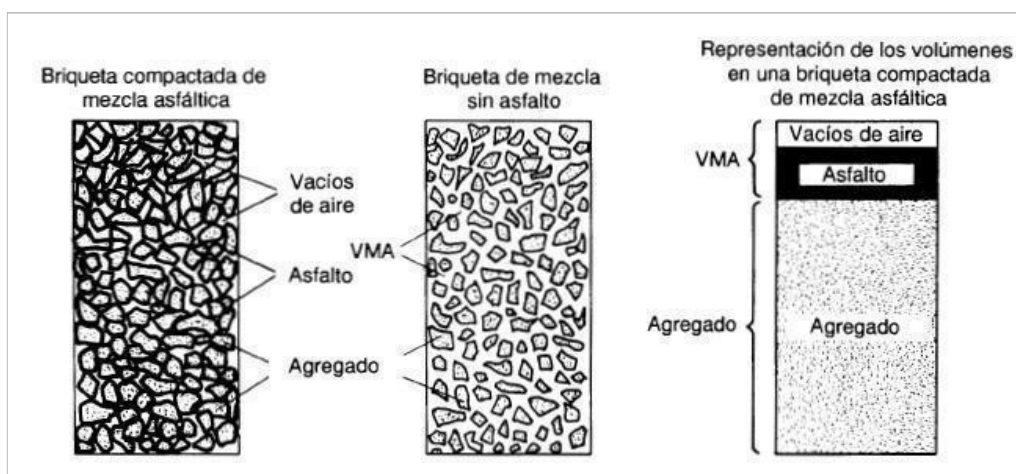
La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor posible de vacíos; preferiblemente menos del 8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

### 2.6.3 Vacíos del agregado mineral

Los vacíos en el mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas del agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción 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 se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

Figura N<sup>a</sup> 2.2: Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada  
(Nota: para simplificar el volumen de asfalto absorbido no mostrado).



Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Figura N° 2.3: Vacíos en el agregado mineral (requisitos de VMA).

Maximo tamaño de		Porcentaje minimo V.M.A		
particula nominal		Porcentaje diseño vacios de aire		
mm	in	3	4	5
1.18	N°16	21.5	22.5	23.5
2.36	N°8	19	20	21
4.75	N°6	16	17	18
9.5	3/8.	14	15	16
12.5	1/2.	13	14	15
19	3/4.	12	13	14
25	1	11	12	13
37.5	1.5	10	11	12

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Cap.3, pág. 59 del Asphalt Institute MS-22

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

#### 2.6.4 Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio y luego controlada con precisión en la obra.

El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor será

la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (N°200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber literalmente gran parte el contenido de asfalto resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la

capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

## **2.7 Adhesividad de los áridos**

Para que el asfalto se adhiera a los áridos es necesario en primer lugar, que haya un buen contacto entre la superficie del árido y el asfalto, en segundo lugar, que existan fuerzas de atracción entre ambos.

La adhesividad árido - ligante es un fenómeno muy complejo que depende de la naturaleza tanto del árido como del asfalto, así como de las condiciones específicas de los materiales en la obra (limpieza y contenido de humedad del árido, temperatura de mezclado, etc.).

Los agregados pueden ser naturales o procesados, de acuerdo con su tamaño, se divide en gravas, arenas y relleno mineral. (Llenante mineral o filler). Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomados de la ribera de los ríos (cantera de río). Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de usarlos.

## **2.8 Reología del asfalto**

La reología se encarga de estudiar la fluencia y la deformación de la materia. En sentido más estricto la reología mide la deformación de los cuerpos que no son ni sólidos ni líquidos, es decir, de cuerpos intermedios entre sólido elástico y líquido viscoso.

El comportamiento reológico de los asfaltos es de fundamental importancia para su empleo en carreteras, tanto para conseguir una correcta manipulación y puesta en obra, como para valorar su comportamiento en servicio.

Los asfaltos presentan un comportamiento reológico muy complejo que depende de la temperatura, de la carga y del tiempo de aplicación. A bajas temperaturas y durante intervalos pequeños de tiempo, el asfalto tiene un carácter elástico, mientras que a temperatura moderadamente elevada los tiempos de aplicación son largos, la elasticidad prácticamente desaparece y el asfalto se deforma permanentemente y fluye en el caso con el asfalto

modificado el comportamiento es diferente debido a la influencia de los monómeros, esta composición brinda una recuperación elástica.

## **2.9 Comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas**

La modificación de asfalto es una técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfalto en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y de tránsito.

Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, mejoran el comportamiento reológico de los mismos, se puede decir que un asfalto modificado es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de los polímeros con un ligante asfáltico.

Un asfalto puede modificarse con rellenos minerales, cauchos, plásticos y polímeros. Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según la temperatura a la que se encuentren; es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedades que se denomina susceptibilidad térmica, la cual deberá ser lo más baja posible, de modo que, a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de cargas, sean lo suficiente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas, sean resistentes a las deformaciones.

La situación ideal es aquella de aquel asfalto que mantiene su consistencia en un amplio intervalo de temperatura.

Los polímeros son macromoléculas formadas por monómeros de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse dentro del asfalto. Así por ejemplo tenemos; el cemento modificado betuflex lo cual es de comportamiento elastómero.

Estos polímeros generan redes formando una cadena lineal entre brindando un sistema de dos fases en donde:

- El polímero se dispersa sin ejercer efecto alguno.
- Absorben los aceites máltenos y se hinchan.

En general un agente modificador de betuflex logra:

- Disminuir la susceptibilidad térmica.
- Aumenta la cohesión interna.
- Mejora la elasticidad y flexibilidad a bajas temperaturas.
- Mejora el comportamiento a fatiga.
- Aumenta la resistencia al envejecimiento
- Comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de caucho triturado de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambio de temperatura, que se añade al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

#### Polímero tipo II

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas. Es fabricado con base en polímeros elastómeros lineales, mediante una configuración de SBS. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados.



### 2.9.1 Asfalto modificado con betuflex 60/85E

Es un polímero SBS como materia prima, es un material blanquecino obtenido de una industrialización química, donde la obtención del material en nuestro medio es bastante complejo, la alternativa a utilizar nace del asfalto modificado que se encuentran en la institución SEDECA que nos brindó su apoyo para esta investigación.

Asfalto modificado con identificación betuflex 60/85E es un cemento asfáltico con polímero elastómero SBS, tiene características de rendimiento, como reducir la sensibilidad térmica, la resistencia a la tensión térmica y mecánica (elasticidad) y resistencia al envejecimiento.

Figura N° 2.4: Asfalto modificado betuflex 60/85E.



Fuente: Elaboración propia

En el mercado se puede encontrar una gran variedad de asfaltos adicionales a los antes mencionados esto debido a que la acción de los modificadores colabora en la tendencia a que el asfalto presente menores variaciones de consistencia por cambios de temperatura.

Con la utilización de asfaltos modificados, las mezclas asfálticas pueden optimizar su desempeño, el grado y tipo de mejoramiento dependerá del asfalto modificador. Entre las posibles mejoras se pueden mencionar:

- Disminuir la susceptibilidad térmica
- Aumentar la cohesión interna
- Mejorar la elasticidad y flexibilidad a bajas temperaturas
- Mejorar el comportamiento a la fatiga
- Aumentar la resistencia al envejecimiento
- Reducir la deformación permanente

## **2.10 Tipos de mezclas asfálticas**

Existen varias clasificaciones de mezclas asfálticas, de acuerdo con el parámetro considerando para establecer las diferencias. Así conforme las fracciones de agregado pétreo empleado en la elaboración de la mezcla, estas se dividen en mastico asfáltico; mortero asfáltico; macadam asfáltico. Si la temperatura es considerada, se divide en mezclas en frío y mezclas en caliente. Si el parámetro considerado es el porcentaje de vacíos de aire, las mezclas pueden ser densas o cerradas; semidensas o semicerradas; abiertas y porosas, dependiendo si tienen menos del 6%, entre el 6 y el 12% de vacíos de aire, entre el 12 y el 18% o más del 20%, respectivamente. Otra clasificación se establece de acuerdo con la estructura de los agregados pétreos; así, se tienen mezclas con o sin esqueleto mineral. Si se considera la curva granulométrica, se clasifica en mezclas asfálticas continuas o mezclas discontinuas. La mezcla asfáltica en caliente se tipifica así, porque tanto el agregado pétreo, como el asfalto, se calienta antes del mezclado; es un tipo de mezcla compuesta por un 93 a 97 % de agregado pétreo y por un 3 a 7% de asfalto, con respecto a la masa total de la mezcla.

## **2.11 Diseño de mezclas asfálticas método Marshall**

El concepto de este método fue desarrollado por Bruce Marshall, ingeniero del estado de Mississippi. Su propósito es determinar el contenido óptimo del asfalto para una combinación específica de agregados.

El método también provee informar sobre sus propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y establecer densidades y contenidos óptimos de vacíos que deberán ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente de pavimentación, que se usan con cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25mm (1 pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos.

El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

Este método consiste en moldear briquetas con la mezcla de agregados y con cemento asfáltico caliente. Estas briquetas dispuestas en serie con diferentes porcentajes de asfalto, se las moldea una vez que los materiales (agregados y asfalto) hayan sido aprobados según sus respectivas especificaciones de calidad, tamaño, etc.

Se deben utilizar probetas y una serie de muestras, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferente contenido de asfalto, son preparadas de acuerdo a procedimientos específicos.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del método del Marshall son:

- Análisis de la relación de vacíos – densidad.
- Prueba de estabilidad – flujo de las muestras compactadas

Nota: Para este estudio se realizará el ensayo Marshall para ambas mezclas asfálticas modificadas manteniendo la faja de trabajo, para su estudio y caracterización de agregados.

## **2.12 Marco referencial**

El presente trabajo de investigación se respaldó en:

TITULO: “ANALISIS COMPARATIVO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON POLIMEROS SBS.” Autor: Stalin Wladimir L. & Yadira A. Veloz V. Ecuador 2013.

TITULO: “COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON FIBRAS” Autor: Paul Garnica, Horacio Delgado, José Gómez & Álvaro Gonzales. México 2004.

TITULO: “MODIFICACIÓN DE ASFALTO CON ELASTÓMEROS PARA USO EN PAVIMENTOS” Autor: Carolina Palma, José Ortiz, Felipe Avalos & Adali Castañeda. México 2015.

### **2.13 Marco conceptual de agregados**

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4.). Para la investigación deberá ser procedente de una trituración.

#### Agregado fino

Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm (N°4) y 75 µm (N° 200). El agregado fino deberá proceder de una trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.

#### Cemento asfáltico

El cemento asfáltico es un material de propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, tiene características de flexibilidad, consistencia, adhesividad y durabilidad, pero es susceptible a cambios de temperatura.

#### Propiedades

Es una característica mensurable capaz de calificar un comportamiento o una respuesta del mismo a sollicitaciones externas.

#### Polímeros

Son macromoléculas que se forman con la vinculación de otras clases de moléculas denominadas monómeros. La aceptación más habitual del término hace mención a un

compuesto, ya sea sintético, natural o químico, que se crea a través de un fenómeno conocido como polimerización, a partir de la repetición de unidades estructurales.

### Elastómero (SBS)

El elastómero termoplástico basado (caucho SBS) es un copolímero tribloque basado en cada unidad compuesta de una larga secuencia de la cadena principal, y luego covalentemente unida entre si formadas por el copolímero.

Es un elastómero termoplástico, es un tipo de copolímero de bloque de estireno, con características de plástico y caucho, conocido como la “tercera generación del caucho sintético”

### Fluencia

Es la deformación total expresada en mm que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

### Estabilidad

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

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

Tabla N° 2.2: Marco normativo tipos de cementos asfálticos y sus ensayos.

Pruebas	Grado de penetración									
	40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150		200 - 300	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Penetración a 25 °C (77 °F), 100, 5 seg.	40,00	50,00	60,00	70,00	85,00	100,00	120,00	150,00	200,00	300,00
Punto de inflamación °C (°F)	232,00	-	232,00	-	232,00	-	218,00	-	177,00	-
	450,00		450,00		450,00		425,00		350,00	
Ductilidad a 25 °C (77 °F), 5 cm/min, cm	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-	-	-
Solubilidad en tricloroetileno, porcentaje	90,00	-	90,00	-	90,00	-	90,00	-	90,00	-
Prueba en horno de película delgada (TFO), 3,2 mm (1/8 in), 163 °C (325 °F), 5 horas perdida por calentamiento, porcentaje	-	0,80	-	0,80	-	1,00	-	1,30	-	1,50
Penetración del residuo, porcentaje del original	58,00	-	54,00	-	50,00	-	46,00	-	40,00	-
Ductilidad de residuo, a 25 °C (77 °F), 5 cm/min.cm	-	-	50,00	-	75,00	-	100,00	-	100,00	-
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) (ver nota)	Negativo para todos los grados									
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados									
Solvente de nafta-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									
Solvente de heptano-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									

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

Tabla N° 2.3: Normas aplicadas para los agregados, cemento asfáltico y ensayos.

Ensayos	Norma ASTM	Norma AASTHO
Granulometría	C-136	T-27
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	C-131	T-96
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	C-127	T-85
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	C-128	T-84
Peso unitario	C-29	T-19
Equivalente de arena	D-2419	T176
Cemento asfáltico convencional y modificado betuflex 60/85E		
Ensayos	Norma ASTM	Norma AASTHO
Penetración	D-5	T-49
Ductilidad	D-445	T-72
Punto de inflamación	D-92	T-48
Peso específico	D-70	T-43
Punto de ablandamiento	D-36	T-53
Viscosidad Saybolt Furol	D-88	T-301-99

Fuente: Elaboración propia

## **2.14 Punto de vista del investigador**

La modificación de las mezclas asfálticas adicionando fibra de polipropileno a un asfalto convencional se realiza con la intención de mejorar sus propiedades físico-químico y mecánicas esperando que su uso en pavimentos conlleve a mejorar su desempeño y alargar el tiempo de vida de los mismos, los elastómeros son los polímeros más compatibles con el asfalto, en la presente revisión bibliográfica se muestran los elastómeros más utilizados en la modificación de betunes, así como una comparación de la mejora de propiedades obtenidas con el uso de estos.

A base de la teoría estudiada la presente investigación se enfocará directamente en la comparación técnica de las propiedades en mezclas asfálticas modificadas con betuflex y modificadas con la adición de fibras de polipropileno donde se realizará una serie de muestras con distintos materiales, seguidamente se observará el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas en ambos casos.

Se realizará todos los ensayos aplicando las normas que se establecen para una evaluación de las muestras a ensayarse aplicando la estadística y tener resultados conforme a los objetos planteados.

## **CAPÍTULO III**

# **CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**



## CAPÍTULO III

### CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

#### 3.1 Componentes

##### 3.1.1 Unidad de estudio

- Mezclas asfálticas.

##### 3.1.2 Población

- Los comportamientos de las propiedades mecánicas se determinan mediante los ensayos de laboratorio, observando los cambios producidos cuando varían los porcentajes de asfalto modificado con betuflex y modificados con fibra de polipropileno.

##### 3.1.3 Muestra

- Mezcla asfáltica modificada con betuflex y modificada con fibra de polipropileno.

#### 3.2 Selección de materiales

Para realizar un diseño de las mezclas asfálticas modificadas con betuflex y la adición con fibra de polipropileno, primero es necesario conocer los criterios de selección de materiales, el número de ensayos a realizar y sus características.

##### 3.2.1 Criterios para selección del material

Los agregados: grava, gravilla, arena son muestreados de la planta chancadora Garzón ubicada en la comunidad de San Mateo perteneciente al departamento de Tarija.

##### 3.2.2 Criterios para selección de la fibra de polipropileno

Para esta investigación la fibra de polipropileno fue adquirida en el departamento de Tarija sobre la avenida La Paz en una sucursal de SIKA GEINCO ingeniería y construcciones donde ofrece toda clase de fibras y productos relacionados a la ingeniería.

### **3.2.3 Criterios de selección de agregados pétreos**

En nuestro medio, en la ciudad de Tarija, se cuenta con varias plantas chancadoras de materiales pétreos, siendo el criterio de ubicar bancos que son utilizados para el diseño de mezclas asfálticas, decidí utilizar material proveniente de la chancadora Garzón ubicada en la comunidad de San Mateo perteneciente al departamento de Tarija. según los estudios previos se ha demostrado tener muy buenas características y condiciones para el diseño de mezclas asfálticas.

### **3.2.4 Criterios de selección de cemento asfáltico**

El asfalto utilizado en la investigación es el Stratura-Brasil modificado Betuflex 60/85E, siendo un asfalto que se utiliza en la ciudad de Tarija para recapamientos de los pavimentos, también el asfalto utilizado fue el asfalto convencional 85-100 que generalmente es usado para pavimentación es nuestra ciudad por el servicio departamental de caminos (SEDECA), y se encontraban guardados en su depósito el cual queda ubicado en la comunidad de Charaja posteriormente fueron realizados los estudios previos pudiendo demostrar que tienen buenas características y es óptimo para la realización de dicha investigación.

## **3.3 Criterios para determinar del número de ensayos**

Para la presente investigación, se desglosan los diferentes ensayos y el número de los mismos a ejecutarse.

## **3.4 Criterio del número de ensayos para la caracterización de los agregados**

- Granulometría. - Se realizan 1 ensayos para los agregados arena triturada, grava 3/4" y gravilla 3/8".

- Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles. - Se realiza 2 ensayos de los agregados de grava 3/4" y gravilla 3/8".
- Peso específico y absorción del agregado grueso. - Se realizan 3 ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso de los agregados de grava 3/4" y gravilla 3/8" y se sacara su promedio.
- Peso específico del agregado fino. - Se realizan 3 ensayos del agregado fino y se sacara su promedio.
- Peso unitario. - Se realizan 3 ensayos por cada agregado arena, grava 3/4" y gravilla 3/8".
- Equivalente de la arena. - Se realizan 3 ensayos de equivalente de la arena, y se saca un promedio.

Tabla 3.1: Número de ensayos de los agregados pétreos.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Granulometría	1
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	2
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	3
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	3
Peso unitario	3
Equivalente de arena	3

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Criterio del número de ensayos para el cemento asfáltico convencional

- Ensayo de penetración. - Se realizan 3 ensayos del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de punto de inflamación. - Se realizan 3 ensayos del punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de peso específico. - Se realizan 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

- Ensayo de punto de ablandamiento. - Se realizan 3 ensayos de punto de ablandamiento del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
- Ensayo de ductilidad. - Se realiza 3 ensayos de ductilidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
- Ensayo de película delgada. - Se realiza 3 ensayos de película delgada del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
- Ensayo de viscosidad saybolt furol. - Se realiza 3 ensayos de viscosidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.

Tabla 3.2: Número de ensayos del cemento asfáltico 85-100

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Penetración	3
Punto de ablandamiento	3
Punto de inflamación	3
Peso específico	3
Ductilidad	3
Película delgada	3
Viscosidad Saybolt Furol	3

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1 Criterio del número de ensayos para el cemento asfáltico modificado betuflex

- Ensayo de penetración. - Se realizan 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico modificado betuflex 60/85 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de punto de inflamación. - Se realizan 3 ensayos del punto de inflamación del cemento modificado betuflex 60/85 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de peso específico. - Se realizan 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico modificado betuflex 60/85 del cual se obtendrá su promedio.

- Ensayo de punto de ablandamiento. - Se realizan 3 ensayos de punto de ablandamiento del cemento asfáltico modificado betuflex 60/85 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de ductilidad. - Se realiza 3 ensayos de ductilidad del cemento asfáltico modificado betuflex 60/85 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de película delgada. - Se realiza 3 ensayos de película delgada del cemento asfáltico modificado betuflex 60/85 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de viscosidad Saybolt Furol. - Se realiza 3 ensayos de viscosidad del cemento asfáltico modificado betuflex 60/85E del cual se obtendrá su promedio.

Tabla 3.3: Número de ensayos del cemento asfáltico modificado betuflex.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Penetración	3
Punto de ablandamiento	3
Punto de inflamación	3
Peso específico	3
Ductilidad	3
Película delgada	3
Viscosidad saybolt furor	3

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Levantamiento de información

#### 3.6.1 Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse

##### 3.6.1.1 Agregado pétreo

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales en los cuales nos proporciona una seguridad para el diseño que se realice, para la presente investigación se utilizara los agregados de la Chancadora Garzón se encuentra a la orilla del rio cuyo material es procedente de San Mateo lo cual tiene una gran cantidad de áridos que cumple con las especificaciones de la presente investigación, la comunidad de San Mateo se encuentra a 5 kilómetros de la ciudad de Tarija, esta comunidad se dedica mayormente a la agricultura. Se toma en cuenta como agregado pétreo a los materiales:

- Grava 3/4”.
- Gravilla 3/8”
- Arena triturada.

Figura N°3. 1: Ubicación, banco de agregados Garzón



Fuente: Google Earth

Figura N°3.2: Banco de agregado pétreo



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.2 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico convencional 85-100 y el cemento asfáltico modificado betuflex 60/85 E se utilizarán para realizar los ensayos y se nos proporcionara una buena cantidad, que son empleados por el servicio departamental de caminos (SEDECA).

Figura N°3.3: Ubicación de la planta asfáltica del SEDECA.



Fuente: Google Earth

### 3.6.1.3 Fibra de polipropileno

La fibra de polipropileno es proporcionada por empresa distribuidora SIKA GEINCO ingeniería y construcciones líder en venta, con instalaciones en el departamento de Tarija, con número de contacto y dirección: cel.: 70412909, dirección: Av. La Paz Esq. Ciro Trigo y correo electrónico: [geinco.tarija@gmail.com](mailto:geinco.tarija@gmail.com)

Figura N°3.4: Ubicación de la distribuidora de polipropileno



Fuente: Google Earth

## 3.7 Levantamiento de información del producto

En la presente investigación se detalla toda la información de los productos a utilizar para el análisis comparativo de las mezclas asfálticas.

### 3.7.1 Cemento asfáltico convencional

El cemento asfáltico convencional fue proporcionado de servicio departamental de caminos que tiene su depósito ubicado en la comunidad de Charajas de la ciudad de Tarija.



### 3.7.2 Cemento asfáltico modificado betuflex 60/85 E

Para las mezclas asfálticas modificadas se utilizará un cemento asfáltico con polímero SBS por lo cual se tenía en el almacén del SEDECA proveniente del Brasil, en el presente cuadro se muestra las especificaciones técnicas que fueron proporcionadas por la misma institución.

Tabla N°3.4: Especificación técnica del cemento asfáltico convencional 85-100.

Especificaciones técnicas formulario c-1 (llenado por la entidad)-ensayos de verificación de calidad de material solicitando (ensayos AASHTO)	Límites	Método	Encontradas
Penetración a 25 °C, 100 gr, 0,1 mm (T-201)	85 a 100	NBR-6576/ASTMD5/AASHTO T201	91
Viscosidad Saybolt furol a 135 °C seg (T-72)	85 min	NBR-14950/ASTM D88/AASHTO T72	120
Ensayo de mancha 20 % heptaxilol (T-102)	Negativo	ASTM D2770 /AASHTO T102	Negativo
Punto de ablandamiento °C (T-53)	43 a 46	NBR-6560/ASTMD36/AASHTO53	45
Ductilidad a 25 °C 5 cm/min cm (T-51)	100 min	NBR-6293/ASTD113/AASHTO51	> 100
Viscosidad Brookfild a 135 °C	214 min	NBR-15184/ASTMD4402/AASHTO316	290
Viscosidad Brookfild a 150 °C	97 min	NBR-15184/ASTM D4402/AASHTOT31	152
Viscosidad Brookfild a 177 °C	28 a 114	NBR-15184/ASTM D4402/AASHTOT31	58
Temperatura de mistura °C	Indicativo	Cálculo	141 a147
Temperatura de compactación °C	Indicativo	Cálculo	130 a 136
Índice de penetración de pfeiffer	-1,5 a 0,5	Cálculo/Cálculo	-1,10
Punto de inflamación C.O.C °C (T-48)	230 min	NBR-11341/ASTM D92/AASHTO T48	235
Solubilidad en tricloroetileno (T-44)	99 min	NBR-14855/ASTM D2042/AASHTO T44	99,9
Densidad a 25 °C C/25 °C (T-228)	0,99 min	NBR-6296/AASHTO T228	1,012

Fuente: Especificaciones técnicas del fabricante

Tabla N°3.5: Especificación técnica del asfalto modificado betuflex 60/85E.

Descripción	Método AASTHO ASTM	Ensayos		Especificaciones	
		1	2	ABC 60/85 (B)	
Peso específico 25 °C	T-228	1009	1006	-	
Penetración a 25 °C, 100 gr 5 seg	T-49	57	57	40-70	
Punto de inflación copa abierta de Cleveland °C	T-48	305	342	min 235	
Punto de ablandamiento °C	T-53	67	68	min 60	
Recuperación elástica a 25 °C (%)	T-301	97	97	min 85	
Ductilidad a 25 °C y 5 (cm/min), (cm)	T-51	150	150	min 100	
Viscosidad Brookfield a 135 °C (centistokes)	TP-48	1520	1630	max 3000	
Viscosidad Brookfield a 155 °C (centistokes)	D-2161	699	705	max 2000	
Viscosidad Brookfield a 177 °C (centistokes)	D-2161	304	308	max 1000	
Estabilidad de almacenamiento	Penetración (0,1 mm)	T-49	3	2	max 9
	Punto de ablandamiento (°C)	T-53	4	4	max 5
	Recuperación elástica (%)	T-301	3	2	-
Ensayos sobre el residuo de la película delgada (RTFOT)	Cambio de masa (%)	T-179	0,19	0,16	max 1
	Penetración (% ret. Original)	T-49	82	83	min 60
	Punto de ablandamiento	T-53	-2	-3	RED-5 AUM-7
	Recuperación elástica (%)	T-301	85	85	min 80

Fuente: Especificaciones técnicas del fabricante

### 3.8 Caracterización de los agregados

#### Ensayo de granulometría (ASTM C-136)

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

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

Se procedió a realizar el análisis granulométrico tanto del material grueso como del material fino de acuerdo a la norma (ASTM C-136).

Figura N°3.5: Agregado pétreo



Fuente: Elaboración propia

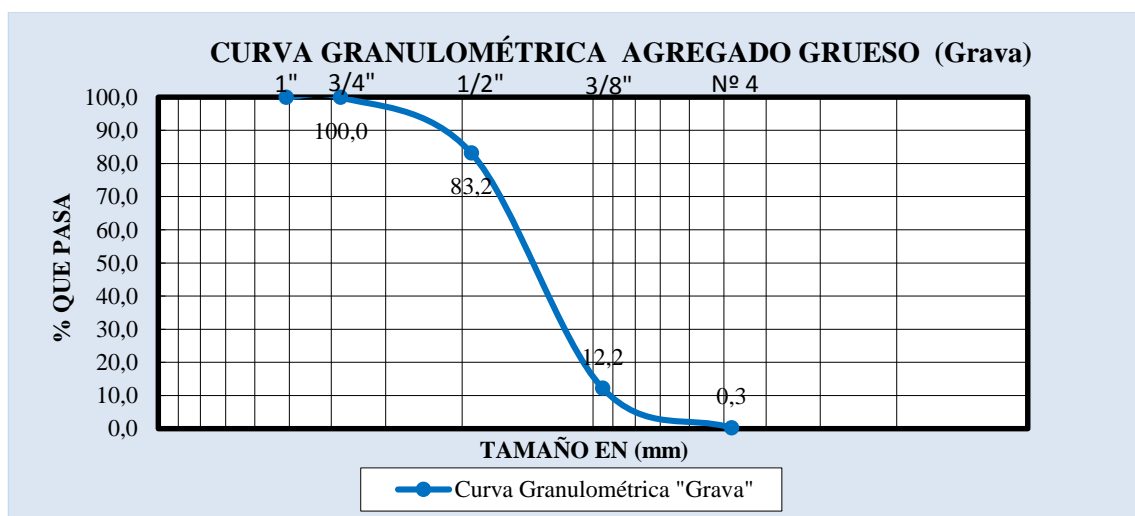
Después del trabajo en los laboratorios, se tabularon los datos y se obtuvieron las siguientes tablas granulométricas:

Tabla N°3.6: Planilla de resultados de la granulometría de la grava (3/4").

Peso total (gr.)			5000		% Que pasa del total
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado (gr)	(%)	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,0
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,0
3/4"	19,05	840,90	840,90	16,82	83,2
1/2"	12,50	2794,00	3634,90	72,70	27,3
3/8"	9,50	755,50	4390,40	87,81	12,2
N°4	4,80	596,80	4987,20	99,74	0,3
N°8	2,36	12,80	5000,00	100,00	0,0
N°16	1,18	0,00	5000,00	100,00	0,0
N°30	0,60	0,00	5000,00	100,00	0,0
N°50	0,30	0,00	5000,00	100,00	0,0
N°100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,0
N°200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,0
BASE	0	0,00	4987,20	99,74	0,0

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.1: Curva granulométrica - grava



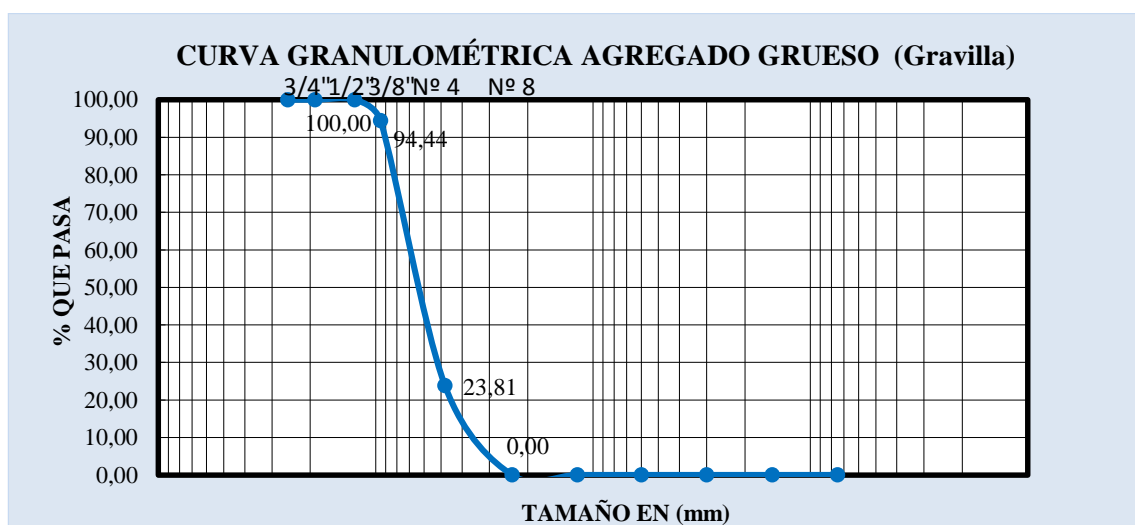
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.7: Planilla de resultados de la granulometría de la gravilla (3/8").

Peso total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr)	(%)	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	278,00	278,00	5,56	94,44
N°4	4,80	3531,50	3809,50	76,19	23,81
N°8	2,36	1190,50	5000,00	100,00	0,00
N°16	1,18	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°30	0,60	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°50	0,30	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,00
BASE		0,00	3809,50	76,19	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.2: Curva granulométrica - gravilla



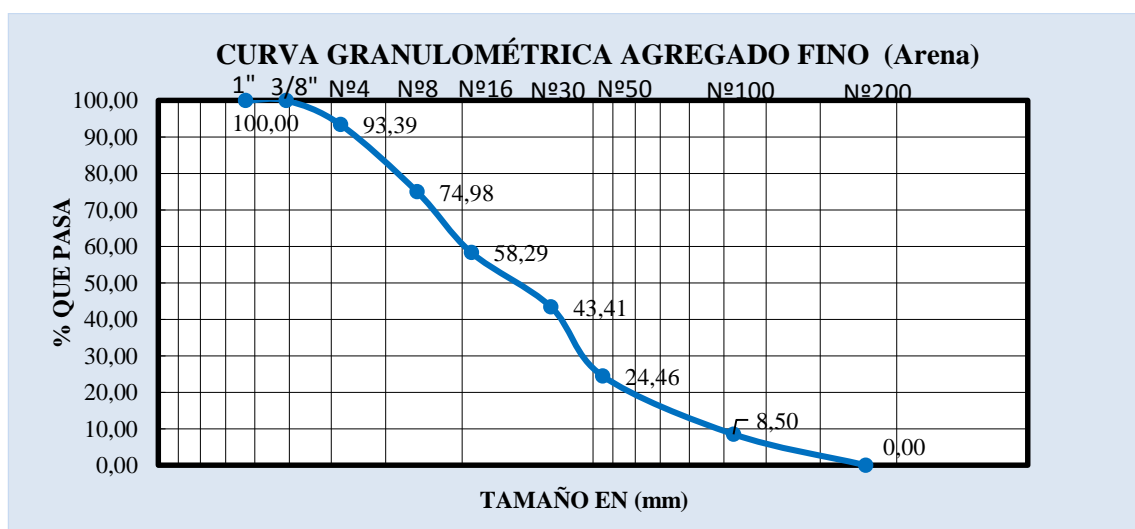
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.8: Planilla de resultados de la granulometría de la arena (N°4).

Peso total (gr.)			5000		% Que pasa del total
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado		
			(gr)	(%)	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	330,50	330,50	6,61	93,39
N°8	2,36	920,50	1251,00	25,02	74,98
N°16	1,18	834,50	2085,50	41,71	58,29
N°30	0,60	744,00	2829,50	56,59	43,41
N°50	0,30	947,50	3777,00	75,54	24,46
N°100	0,15	798,00	4575,00	91,50	8,50
N°200	0,075	425,00	5000,00	100,00	0,00
BASE		0,00	5000,00	100,00	0,0

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.3: Curva granulométrica- arena



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2 Peso específico del agregado grueso (ASTM C-127)

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

Para realizar el ensayo se deberá realizar:

- Cuartear el agregado grueso más o menos 5kg lavados y retenidos en la malla N°4 (4,75mm), se secan a peso constante.
- La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.
- Los agregados se sacan del agua.
- Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.
- La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso sumergido en agua.
- La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.

Figura N°3.6: Agregado utilizado para el ensayo



Fuente: Elaboración propia

Figura N°3.7: Obtención del peso sumergido en agua



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.9: Datos del ensayo de peso específico del agregado grueso (grava).

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup.seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4159,00	4264,10	2630,00
2	4139,00	4210,10	2650,00
3	4225,00	4296,10	2653,00

Fuente: Elaboración propia

Proceso para el cálculo de la grava 3/4"

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{a}{b - c}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{4159}{4264,10 - 2630}$$

$$\text{Peso específico a granel} = 2,55 \text{ gr/cm}^3$$



$$P. E \text{ Saturado de superficie seca} = \frac{b}{b - c}$$

$$P. E \text{ Saturado de superficie seca} = \frac{4264,10}{4264,10 - 2630}$$

$$P. E \text{ Saturado de superficie seca} = 2,61 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a}{a - c}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{4159}{4159 - 2630}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,72 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{b - a}{a} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{4264,10 - 4159}{4159} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 2,53\%$$

Tabla N° 3.10: Resultados del ensayo de peso específico para grava

Muestra N°	Peso específico granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
1	2,55	2,61	2,72	2,53
2	2,65	2,70	2,78	1,72
3	2,57	2,61	2,69	1,68
Promedio	2,59	2,64	2,73	1,98

Fuente: Elaboración propia

Para la gravilla se sigue el mismo procedimiento de cálculo que se hizo para la grava.

Tabla N°3.11: Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (gravilla).

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4810,10	4891,30	3015,00
2	4815,53	4893,20	3010,00
3	4812,24	4892,50	3045,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.12: Resultados del ensayo de peso específico para gravilla 3/8".

Muestra N°	Peso específico granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
1	2,56	2,61	2,68	1,69
2	2,56	2,60	2,67	1,61
3	2,60	2,65	2,72	1,67
Promedio	2,58	2,62	2,69	1,66

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3 Peso específico del agregado fino ASTM C-128

Mediante este ensayo podemos determinar el peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, este valor expresado en porcentaje en peso. Se define como peso específico aparente a la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

Figura Nª 3.8: Secado superficial del material



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.9: Preparación del matraz para el pesado de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.13: Datos del ensayo de peso específico para arena.

Ensayos	1	2	3
Peso muestra seca al horno "A" (gr)	491,78	491,68	491,75
Peso matraz + agua "B" (gr)	547,78	536,58	547,19
Peso muestra + matraz + agua "C" (gr)	1047,78	1047,78	1047,78
Peso muestra sat. Seca "S" (gr)	500,00	500,00	500,00
Peso matraz (gr)	237	221,7	235,7

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso específico agregado fino (arena).

$$\text{Peso específico seco} = \frac{a}{(b + s) - c}$$

$$\text{Peso específico seco} = \frac{491,78}{(547,78 + 500) - 1047,78}$$

$$\text{Peso específico seco} = 2,60 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P. E Saturado de superficie seca} = \frac{S}{(b + S) - C}$$

$$\text{P. E Saturado de superficie seca} = \frac{500}{(547,78 + 500) - 1047,78}$$

$$\text{P.E Saturado de superficie seca} = 2,64 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a}{(b + a) - c}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{491,78}{(547,78 + 491,78) - 1047,78}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,72 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{S - A}{S} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - 491,78}{500} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,64\%$$

Tabla N° 3.14: Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.

Ensayos	1	2	3	Promedio
Peso específico seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2,60	2,66	2,61	2,62
Peso específico S.S.S (gr/cm <sup>3</sup> )	2,64	2,70	2,65	2,67
Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2,72	2,78	2,73	2,74
% de absorción	1,64	1,66	1,65	1,65

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.4 Equivalente de arena (ASTM D -2419)

Este método de ensayo pretende servir como un ensayo rápido de correlación en el campo. El propósito de este método de ensayo es indicar, bajo las condiciones estándar las proporciones relativas de arcilla o finos plásticos que pasa la malla de 4.75 mm (N°4).

El término “equivalente de arena” expresa el concepto que la mayoría de suelos granulares y agregado fino son mezclas deseables de partículas gruesas, arena y generalmente no deseables arcillas, finos plásticos y polvo.

Sirve para evaluar la limpieza de los áridos finos o suelos poco plásticos, a través de un índice relativo a la proporción de material. El ensayo sirve para caracterizar los áridos que se utilizan para la construcción de carreteras. Cuanto mayor es el equivalente de arena mejor es la calidad del material.

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

Figura N° 3.10: Equivalente de arena y agitación del cilindro graduado con la muestra.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.11: Lectura de la altura de arena que contiene



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.15: Datos del ensayo equivalente de arena.

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
Lectura nivel superior (H1)	12,00	11,50	11,50
Lectura nivel inferior (H2)	11,50	11,00	11,00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo del equivalente de arena

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

$$\% \text{ de arena} = \frac{11,50}{12,00} * 100\%$$

% arena =95,83%

Tabla N° 3.16: Resultados del ensayo equivalente de arena.

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
Equivalente de arena (%)	95,83	95,65	95,65
Promedio (%)	95,71		

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.5 Ensayo de peso unitario agregados (ASTM C-29)

El peso unitario de unos áridos dados puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido.

Para medir el peso unitario con áridos sueltos, se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos en el recipiente lleno.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos ASTM C-29.

Figura N° 3.12: Peso unitario compactado del agregado 3/4".



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.13: Compactado del agregado suelto 3/4" apisonado.



Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 3.17: Datos de ensayo peso unitario suelto de la grava 3/4”.

Muestra N°	Peso recipiente(gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recipiente + muestra suelta(gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	5845,00	10000,00	19925,00	14080,00
2	5845,00	10000,00	19890,00	14045,00
3	5845,00	10000,00	19870,00	14025,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.18: Datos de ensayo peso unitario compactado de la grava 3/4”.

Muestra N°	Peso recipiente(gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)
1	5845,00	10000,00	20295,00	14450,00
2	5845,00	10000,00	20895,00	15050,00
3	5845,00	10000,00	21095,00	15250,00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso unitario

$$P. U. = \frac{\text{Peso del agregado grueso}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$P. U. = \frac{14080,00}{10000,00}$$

$$P.U.=1,408 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla N° 3.19: Resultados del ensayo peso unitario de la grava 3/4”.

Número de ensayo	Unidad	1	2	3	Promedio	P.U.
Peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1,408	1,405	1,403	1,405	1,45
Peso unitario compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1,445	1,505	1,525	1,492	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.20: Datos del ensayo peso unitario suelto gravilla 3/8”.

Muestra N°	Peso recipiente(gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recipiente + muestra suelta(gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	5845,00	10000,00	19255,00	13410,00
2	5845,00	10000,00	19135,00	13290,00
3	5845,00	10000,00	19085,00	13240,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.21: Datos del ensayo peso unitario compactado gravilla 3/8”.

Muestra N°	Peso recipiente(gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)
1	5845,00	10000,00	20660,00	14815,00
2	5845,00	10000,00	20885,00	15040,00
3	5845,00	10000,00	20830,00	14985,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.22: Resultados del ensayo de la gravilla 3/8”.

Número de ensayo	Unidad	1	2	3	Promedio	P.U.
Peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1,341	1,329	1,324	1,331	1,41
Peso unitario compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1,482	1,504	1,499	1,495	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.23: Datos del peso unitario suelto de la arena.

Muestra N°	Peso recipiente(gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recipiente + muestra suelta(gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	2610,00	3000,00	7840,00	5230,00
2	2610,00	3000,00	7870,00	5260,00
3	2610,00	3000,00	7880,00	5270,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.24: Datos del peso unitario compactado de la arena.

Muestra N°	Peso recipiente(gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)
1	2610,00	3000,00	8195,00	5585,00
2	2610,00	3000,00	8265,00	5655,00
3	2610,00	3000,00	8005,00	5395,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.25: Resultados del ensayo de la arena.

Número de ensayo	Unidad	1	2	3	Promedio	P.U.
Peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1,743	1,753	1,757	1,655	1,75
Peso unitario compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1,862	1,885	1,798	1,848	

Fuente: Elaboración propia

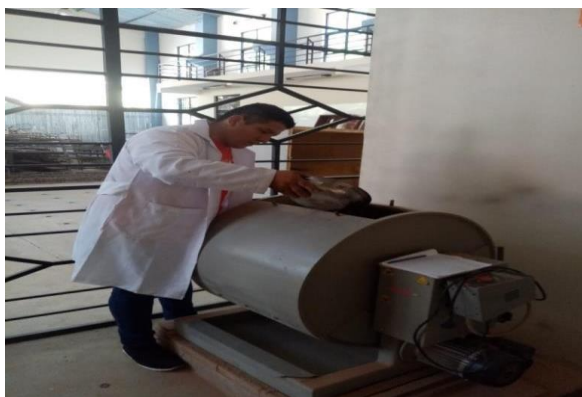
### 3.8.6 Ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131)

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

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

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

Figura N° 3.14: Máquina de desgaste por abrasión con material.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.26: Datos del ensayo de desgaste para grava 3/4".

Datos de laboratorio					
Gradación B					
Carga abrasiva: 11 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones					
N° ensayos	Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido	Peso inicial	Peso final
1	3/4"	1/2"	2500 gr.	5000 gr.	3586,4gr.
	1/2"	3/8"	2500 gr.		

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.15: Agregado grueso – grava.



Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para encontrar el % del desgaste:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5000 - 3586,4}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 28,27\%$$

Tabla N° 3.27: Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8".

Datos de laboratorio					
Gradación C					
Carga abrasiva: 8 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones					
N° ensayos	Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido	Peso inicial	Peso final
1	3/8"	1/4"	2500 gr.	5000 gr.	3540,33gr.
	1/4"	N°4	2500 gr.		

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.16: Agregado grueso – gravilla y las 8 esferas.



Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para encontrar el % de desgaste:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5000 - 3540,33}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 29,19 \%$$

### **3.9 Caracterización del cemento asfáltico**

Para caracterizar y evaluar el comportamiento del cemento asfáltico, es necesario realizar los diversos ensayos, para conocer el comportamiento a escala real, en este capítulo realizaremos una breve descripción de los diversos ensayos sobre los cementos asfálticos tanto como convencional 85/100 y el modificado betuflex 60/85E.

#### **3.9.1 Ensayo de penetración (ASTM D-5)**

El ensayo de penetración permite determinar la dureza o consistencia relativa de los cementos asfálticos, midiendo la distancia en décimas de milímetros que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto, en unas condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo.

El ensayo ha sido normalizado por la asociación americana de ensayos y materiales (ASTM), bajo el código D5, y consiste en colocar una muestra del ligante en un recipiente de volumen normalizado hasta lograr la temperatura de referencia (25 C -77 F), apoyar sobre la muestra la aguja y dejarla penetrar durante un tiempo determinado. La carga aplicada (aguja + pesa + vástago) es de 100 g, y el tiempo de aplicación es de 5 s

Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semisólido y sólidos.

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

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

Figura N° 3.17: Realización del ensayo de penetración del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.28: Datos del ensayo penetración del cemento asfáltico 85-100.

Ensayo		Unidad	Ensayo1	Ensayo2	Ensayo3	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Penetración 25°C, 100gr. 5seg. (0,1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	0,1 mm	97	98	97		
	Lectura N°2	0,1 mm	96	97	98		
	Lectura N°3	0,1 mm	98	97	98		
	Promedio	0,1 mm	97	98	98		
	Resultado	0,1 mm	98			85	100

Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 3.29: Datos del ensayo penetración del cemento asfaltico betuflex 60/85 E.

Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Penetración 25°C, 100gr. 5seg. (0,1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	0,1 mm	85	80	85		
	Lectura N°2	0,1 mm	86	90	88		
	Lectura N°3	0,1 mm	87	85	89		
	Promedio	0,1 mm	86	85	87		
	Resultado	0,1 mm	85			85	100

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.2 Ensayo de punto de inflamación (ASTM D-92)

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

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

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

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

Figura N° 3.18: Realización del ensayo punto de inflamación del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.30: Datos del ensayo punto inflamación cemento asfáltico 85-100

Descripción	Unidad	Ensayo1	Ensayo2	Ensayo3	Promedio	Especificaciones	
						Min.	Max.
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	284	280	285	283	>232	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.31: Datos ensayo punto de inflamación cemento asfáltico betuflex 60/85

Descripción	Unidad	Ensayo1	Ensayo2	Ensayo3	Promedio	Especificaciones	
						Min.	Max.
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	298	296	295	296	>232	-

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.3 Ensayo de la película delgada (ASTM D-1754)

Este método describe un ensayo para determinar el efecto del calor y aire sobre materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este tratamiento son determinados para la medida de las propiedades asfálticas antes y después del ensayo (AASHTO T179-94).

Figura N° 3.19: Realización del ensayo película delgada.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.20: Horno rotatorio para ensayo película delgada



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.32: Datos del ensayo película delgada del cemento asfáltico 85-100.

Muestra N°	Peso recipiente vacío (gr)	Peso recipiente con C.A (gr)	Peso recipiente con C.A después de 5 h en horno (gr)
1	83,5	150	149,3
2	89,1	152,3	151,8
3	88,6	162,4	161,9

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para encontrar el % de efecto de calor y aire:

$$\% \text{ efecto de calor} = \frac{(\text{Peso C.A} - \text{Peso vacío}) - (\text{Peso después de 5h C.A})}{(\text{Peso C.A} - \text{Peso Vacio})} * 100$$

$$\% \text{ efecto de calor} = \frac{(150 - 83,50) - (149,3 - 83,5)}{150 - 83,50} * 100$$

% de efecto de calor = 1,05%

Tabla N° 3.33: Resultados del ensayo película delgada en horno 163°C.

Descripción	Unidad	Ensayo1	Ensayo2	Ensayo3	Promedio	Especificaciones	
						Min.	Max.
Ensayo de película delgada AASHTO T179-05	%	1,05	0,79	0,68	0,84	-	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.34: Datos del ensayo película delgada del cemento betuflex 60/85E.

Muestra N°	Peso recipiente vacío (gr)	Peso recipiente con C.A (gr)	Peso recipiente con C.A después de 5 h en horno (gr)
1	83,5	150,4	150
2	83,6	163,3	163,2
3	85	163,5	163,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.35: Resultados del ensayo película delgada en horno 163°C.

Descripción	Unidad	Ensayo1	Ensayo2	Ensayo3	Promedio	Especificaciones	
						Min.	Max.
Ensayo de película delgada AASHTO T179-05	%	0,60	0,13	0,38	0,37	-	1

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.4 Ensayo peso específico del asfalto (ASTM D-70)

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea 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 del peso específico del agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas.

Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del picnómetro, descrito en los métodos AASHTO T-43 y ASTM D-70.

Figura N° 3.21: Realización del ensayo peso específico del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.36: Datos del ensayo peso específico C.A convencional 85-100.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso picnómetro (a)	gr	35,4	35,7	36,9
Peso picnómetro + agua (25°C) (b)	gr	86,9	87,2	85,8
Peso picnómetro + muestra ©	gr	50,6	51	50,9
Peso picnómetro + agua + muestra (d)	gr	87	86,24	87,1

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para encontrar el peso específico del cemento asfáltico

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = \frac{c - a}{b + (c - a) - d} * e$$

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = \frac{(50,6 - 35,4)}{86,9 + (50,6 - 35,4) - 87} * 0,997077$$

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = 1,014 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla N° 3.37: Datos del ensayo peso específico C.A betuflex 60/85 E.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso picnómetro (a)	gr	37	36,3	35,3
Peso picnómetro + agua (25°C) (b)	gr	87	86,1	84,2
Peso picnómetro + muestra ©	gr	64,4	68,9	61,7
Peso picnómetro + agua + muestra (d)	gr	87,4	89,3	83

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.38: Resultados de los ensayos de peso específico del C.A

Descripción	Unidad	Ensayo1	Ensayo2	Ensayo3	Especificaciones	
					Min.	Max.
Peso específico de C.A 85-100	gr/cm <sup>3</sup>	1,004	0,938	1,099		
Peso específico de C.A Betuflex 60/85E	gr/cm <sup>3</sup>	1.012	1,106	0,954		
Promedio C.A 85-100	gr/cm <sup>3</sup>	1,014			1	1,05
Promedio C.A 60/85	gr/cm <sup>3</sup>	1,024			1	1,05

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.5 Ensayo punto de ablandamiento (ASTM D-36)

Los asfaltos de diferentes tipos se ablandan a temperaturas diferentes. El punto de ablandamiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos.

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 fin de este laboratorio es hallar el punto de ablandamiento de los materiales bituminosos (visco-elásticos) mediante el ensayo de anillo y bola, ya que este dato es necesario para saber hasta que temperatura el material puede o debe ser elevado para hacer su manejo más fácil, así como el recubrimiento de estos a los agregados granulares

Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación, se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASHTO T-53 y ASTM D-36.

Figura N° 3.22: Ensayo de punto de ablandamiento.



Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 3.39: Datos y resultado del ensayo de punto de ablandamiento.

Descripción	Unidad	Ensayo1	Ensayo2	Ensayo3	Especificaciones	
					Min.	Max.
Punto ablandamiento de 85-100	°C	46	45	45		
Punto ablandamiento de 60/85	°C	42	41	43		
Promedio C.A 85-100	°C	42			41	53
Promedio C.A 60/85	°C	46			41	53

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.6 Ensayo ductilidad (ASTM D-113)

Este ensayo consiste en moldear en condiciones y con dimensiones normalizadas una probeta de betún asfáltico que después se somete, a la temperatura establecida, a un alargamiento con una velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos rompa. La longitud (en cm) a la que el hilo de material se rompe define su ductilidad

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

Los materiales asfálticos dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes que aquellos que les falta esta característica. Es más importante la existencia de la ductilidad que el valor obtenido en el ensayo. Por otra parte, si estos materiales poseen una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura.

Figura N° 3.23: Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.24: Colocación de moldes con cemento asfáltico en baño María.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.40: Datos y resultados de ensayo de ductilidad a 25°C AASTHO T-51.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Especificaciones	
					Min.	Max.
Ductilidad de C.A 85-100	cm	155	96	101		
Ductilidad de C.A 60/85	cm	87	129	132		
Promedio C.A 85-100	cm	117			100	-
Promedio C.A 60/85	cm	116			100	-

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.7 Ensayo de Viscosidad Saybolt-Furol (AASHTO T-84) (ASTM E-102).

La viscosidad se define como la resistencia al flujo de un líquido. Se utiliza este ensayo como una medida de consistencia y los resultados son reportados en segundos Saybolt-Furol. La viscosidad “Furol” está considerada como un décimo de la viscosidad “universal”, cuanto más alta es la viscosidad de un líquido, este se aproxima en sus propiedades de consistencia, a un semisólido y la designación “Furol” resulta de una contracción del (aceite de combustión) de productos que requieren temperaturas superiores a 100°C (212°F).

Se comienza el ensayo limpiando perfectamente el recipiente con un disolvente eficaz, por ejemplo, gasolina, teniendo cuidado de que no quede disolvente en el interior del cilindro sino causara errores en ensayo debido a que la gasolina puede diluirse con el asfalto y modificara su propiedad.

Se coloca la muestra en el tubo dejándolo ahí un tiempo, la temperatura del baño se debe controlar que se mantenga constante. Se coloca el frasco calibrado de 60 ml cuidadosamente debajo del orificio del equipo de manera que este centrado con ello, se debe de tomar en cuenta que cuando fluya la muestra no deberá chocar con las paredes del frasco, el ensayo se empieza sacando violentamente el tapón del corcho del tubo, al mismo tiempo se deberá iniciar con el cronometraje hasta que fluya totalmente la muestra en el frasco de vidrio.

Figura N° 3.25: Realización del ensayo viscosidad saybolt del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.41: Resultados del ensayo viscosidad Saybolt Furol 85-100 y 60/85 E.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Especificaciones	
				Min.	Max.
Viscosidad de C.A 85-100	Seg.	260	265,8		
Viscosidad de C.A 60/85	Seg.	271	213		
Promedio C.A 85-100	Seg.	262,8		85	-
Promedio C.A 60/85	Seg.	242,1		85	-

Fuente: Elaboración propia

### 3.10 Diseño de mezclas asfálticas

Para realizar el presente estudio, se realizan dosificaciones con diferentes porcentajes de fibra de polipropileno, manteniendo un diseño granulométrico constante, que consta de grava, gravilla, arena y filler, que se obtuvieron del banco de agregados la cual es la chancadora Garzón.

### 3.10.1 Diseño granulométrico

Se realiza el diseño granulométrico con la grava, gravilla, arena y filler, caracterizados previamente, formando una curva granulométrica única o constante, cumpliendo con las especificaciones de la norma ASTM D3515 del método Marshall.

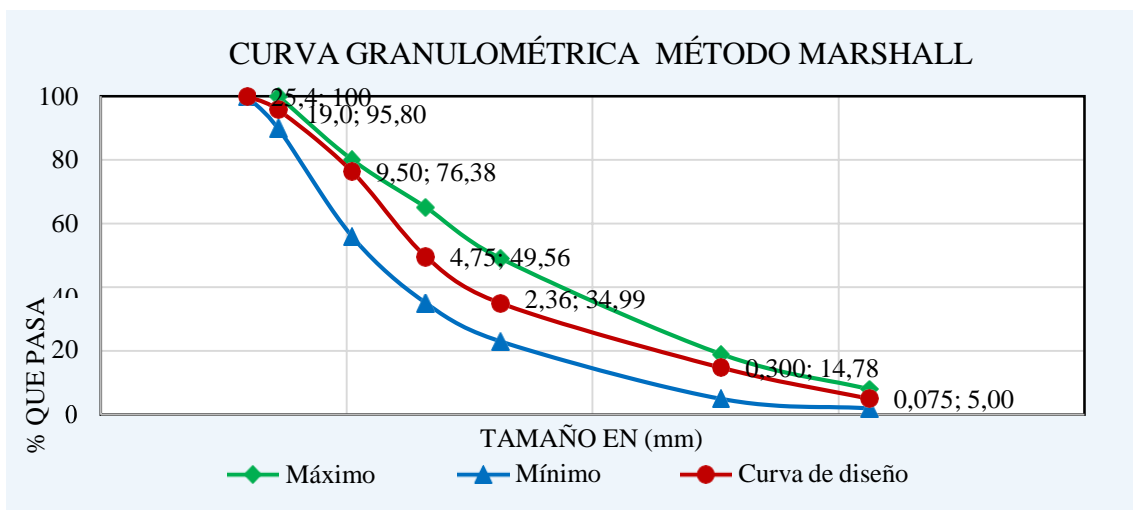
Para el diseño de las fajas granulométricas se utilizarán los materiales de los que se disponía, tanto para el agregado grueso como para el fino, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 25% de grava de 3/4", 30% de gravilla de 3/8", de 40% de arena y de 5% filler, haciendo un total del 55% del agregado grueso y 45% de agregado fino para la granulometría de la mezcla, donde a continuación, se muestra el resumen de la granulometría.

Tabla N° 3.42: Datos de los porcentajes de los agregados pétreos.

Tami ces	tamaño (mm)	Dosificación				Curva de dosificación				Especificaciones	
		Grava (%)	Gravilla (%)	Arena (%)	Filler (%)	Peso Ret. 100,00	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM D3515	
		25,00	30,00	40,00	5,00					Mínim o	Máxim o
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	210,23	0,00	0,00	0,00	210,23	210,23	4,20	95,80	90	100
1/2"	12,5	698,50	0,00	0,00	0,00	698,50	908,73	18,17	81,83	-	-
3/8"	9,50	188,88	83,40	0,00	0,00	272,28	1181,00	23,62	76,38	56	80
N°4	4,75	149,20	1059,45	132,20	0,00	1340,85	2521,85	50,44	49,56	35	65
N°8	2,36	3,20	357,15	368,20	0,00	728,55	3250,40	65,01	34,99	23	49
N°16	1,18	0,00	0,00	333,80	0,00	333,80	3584,20	71,68	28,32	-	-
N°30	0,60	0,00	0,00	297,60	0,00	297,60	3881,80	77,64	22,36	-	-
N°50	0,30	0,00	0,00	379,00	0,00	379,00	4260,80	85,22	14,78	5	19
N°100	0,15	0,00	0,00	319,20	0,00	319,20	4580,00	91,60	8,40	-	-
N°200	0,075	0,00	0,00	170,00	0,00	170,00	4750,00	95,00	5,00	2	8
BASE	-	0,00	0,00	0,00	250,00	250,00	5000,00	100,00	0,00	-	-
	Peso total	1250,00	1500,00	2000,00	250,00	5000,0					

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.4: Representación gráfica curva granulométrica método Marshall.



Fuente: Elaboración propia

### 3.10.2 Dosificación de mezclas asfálticas inicial

A partir del diseño granulométrico constante, se realiza una dosificación inicial que servirá para determinar el contenido óptimo de los dos ligantes asfálticos en estudio: cemento asfáltico modificado betuflex 60/85E (para realizar la mezcla modificada estándar) y para el cemento asfáltico convencional 85/100 (para realizar la mezcla modificada con fibra de polipropileno).

Tabla N° 3.43: Porcentajes de agregados según diseño granulométrico

Peso total de briqueta (gr)	1200
Contenido de grava (%)	25
Contenido de gravilla (%)	30
Contenido de arena (%)	40
Contenido de filler (%)	5

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos del diseño granulométrico, obtenemos la dosificación inicial, haciendo variar los porcentajes de cemento asfáltico desde 4,5% hasta el 6,5%, haciendo variar cada 0,5%, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 3.44: Variaciones de porcentajes del cemento asfáltico

N°	1	2	3	4	5
Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de agregado (%)	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%
Peso del cemento asfáltico (gr)	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr)	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50
Peso de gravilla (gr)	343,80	342,00	340,20	338,40	336,60
Peso de arena (gr)	458,40	456,00	453,60	451,20	448,80
Peso de filler (gr)	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Con las dosificaciones se realizan 3 briquetas por cada porcentaje de cemento asfáltico.

Tabla N° 3.45: Cantidades de briquetas a realizar para cada diseño.

Porcentajes de cemento asfáltico	Cantidad de briquetas a realizar
4,50%	3
5,00%	3
5,50%	3
6,00%	3
6,50%	3
Total, briquetas elaboradas para cada diseño	15

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.3 Dosificación de mezclas asfálticas con porcentajes de polipropileno.

A partir del diseño granulométrico constante, se proceden a realizar diferentes dosificaciones, haciendo variar porcentajes de fibra de polipropileno (0,5% - 1% - 1,5% - 2% y 2,5%).

Tabla N° 3.46: Dosificación con porcentajes cemento asfáltico 0,5% polipropileno.

N°	1	2	3	4	5
Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de polipropileno (%)	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Porcentaje de agregado (%)	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
Peso de grava (gr) *	285,00	283,50	282,00	280,50	279,00
Peso de gravilla (gr) *	342,00	340,20	338,40	336,60	334,80
Peso de arena (gr) *	456,00	453,60	451,20	448,80	446,40
Peso de filler (gr) *	57,00	56,70	56,40	56,10	55,80
Peso del polipropileno (gr) *	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.47: Dosificación con porcentajes cemento asfáltico 1 % polipropileno.

N°	1	2	3	4	5
Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de polipropileno (%)	1%	1%	1%	1%	1%
Porcentaje de agregado (%)	94,50%	94,00%	93,50%	93,00%	92,50%
Peso del cemento asfáltico (gr) *	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr) *	283,50	282,00	280,50	279,00	277,50
Peso de gravilla (gr) *	340,20	338,40	336,60	334,80	333,00
Peso de arena (gr) *	453,60	451,20	448,80	446,40	444,00
Peso de filler (gr) *	56,70	56,40	56,10	55,80	55,50
Peso del polipropileno (gr) *	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 3.48: Dosificación con porcentajes cemento asfáltico 1,5 % polipropileno.

N°	1	2	3	4	5
Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de polipropileno (%)	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Porcentaje de agregado (%)	94,00%	93,50%	93,00%	92,50%	92,00%
Peso del cemento asfáltico (gr) *	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr) *	282,00	280,50	279,00	277,50	276,00
Peso de gravilla (gr) *	338,40	336,60	334,80	333,00	331,20
Peso de arena (gr) *	451,20	448,80	446,40	444,00	441,60
Peso de filler (gr) *	56,40	56,10	55,80	55,50	55,20
Peso del polipropileno (gr) *	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.49: Dosificación con porcentajes cemento asfáltico 2 % polipropileno.

N°	1	2	3	4	5
Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de polipropileno (%)	2%	2%	2%	2%	2%
Porcentaje de agregado (%)	93,50%	93,00%	92,50%	92,00%	91,50%
Peso del cemento asfáltico (gr) *	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr) *	280,50	279,00	277,50	276,00	274,50
Peso de gravilla (gr) *	336,60	334,80	333,00	331,20	329,40
Peso de arena (gr) *	448,80	446,40	444,00	441,60	439,20
Peso de filler (gr) *	56,10	55,80	55,50	55,20	54,90
Peso del polipropileno (gr) *	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.50: Dosificación con porcentajes cemento asfáltico 2,5 % polipropileno.

N°	1	2	3	4	5
Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de polipropileno (%)	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
Porcentaje de agregado (%)	93,00%	92,50%	92,00%	91,50%	91,00%
Peso del cemento asfáltico (gr) *	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr) *	279,00	277,50	276,00	274,50	273,00
Peso de gravilla (gr) *	334,80	333,00	331,20	329,40	327,60
Peso de arena (gr) *	446,40	444,00	441,60	439,20	436,80
Peso de filler (gr) *	55,80	55,50	55,20	54,90	54,60
Peso del polipropileno (gr) *	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.4 Elaboración de briquetas

A partir de las dosificaciones se procede a realizar las briquetas y antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C. Por un lado, se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada al horno para calentar a una temperatura de 170 a 190°C. Por otro lado, se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 140°C. Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

Se pesan luego sobre un plato las diversas fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos. Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el asfalto caliente, hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

Figura N° 3.26: Pesaje de los materiales.



Fuente: Elaboración propia

Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a  $140^{\circ}\text{C}$  ni en ningún caso someterse a recalentamiento. Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo especial compuesto de: un disco circular que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del martillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18".

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 115 briquetas de ambas mezclas modificadas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una media hora y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico, donde posteriormente se ubican las briquetas en un lugar en forma ordenada para después recabar información de las medidas de alturas de las muestras y sacar un valor promedio de las mismas.

Figura N° 3.27: Elaboración y compactado de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.28: Extracción de las briquetas con extractor hidráulico.



Fuente: Elaboración propia

### 3.10.5 Rotura de briquetas

Para la rotura de briquetas, se procede a realizar dos pasos previos, el primero para determinar las propiedades volumétricas Marshall (densidad, vacíos de la mezcla, vacíos

del agregado mineral y la relación betún vacíos) y la segunda para determinar la estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica.

Una vez extraído las briquetas de los moldes y dejando enfriar 24 horas, se procede primero a medir con un vernier las alturas en cuatro puntos de la briqueta y de esta manera determinar su altura media que será corregida mediante un factor de corrección, donde también se procede a sumergir las briquetas a una temperatura de 25°C baño María para poder determinar el peso de absorción de las muestras.

Figura N° 3.29: Proceso de medición y pesaje de briquetas sumergidas



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.30: Briquetas sumergidas y pesadas en balanza con canastillo.



Fuente: Elaboración propia

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre 21°C y 38°C (70 a 100°F). Si es inferior, deberán calentarse en baño de agua hasta alcanzar la temperatura indicada. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. 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 coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de 50,8mm por minuto hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60°C (150°F) se anota como valor de estabilidad Marshall.

Mientras se realiza el ensayo de estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (flujo) 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 flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Figura N° 3.31: Marcación de las briquetas para realizar ensayo Marshall.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.32: Inmersión de briquetas a una temperatura 60°C.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.33: Lectura de briquetas a una temperatura 60°C.



Fuente: Elaboración propia

### 3.10.6 Datos y resultados de propiedades Marshall

Una vez realizado el proceso de rotura de las briquetas elaboradas de diferentes mezclas asfálticas modificadas como ser: con betuflex y con fibra de polipropileno se obtuvieron los siguientes datos y resultados de propiedades volumétricas, estabilidad y fluencia como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla N°3.51: Propiedades volumétricas de la mezcla modificada betuflex 60/85 E.

N° de probeta	% de asfalto		Altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen Probeta	Densidad briqueta			% de vacíos		
	Base mezcla	Base agregados		Seco	Sat. sup. seca	Sumergida en agua		Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima óptica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betún vacíos)
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	%	%
1	4,50	4,71	6,40	1184,9	1191,8	690	501,8	2,36	2,35	2,52	7,10	17,41	59,21
2			6,43	1189,3	1197,5	690	507,5	2,34					
3			6,45	1180,0	1190,1	684	506,1	2,33					
4	5,00	5,26	6,35	1191,3	1196,0	697	499,0	2,39	2,36	2,50	5,56	17,11	67,49
5			6,26	1179,9	1184,7	683	501,7	2,35					
6			6,45	1190,5	1193,8	688	505,8	2,35					
7	5,50	5,82	6,34	1188,4	1191,7	693	498,7	2,38	2,37	2,48	4,51	17,24	73,85
8			6,35	1197,3	1199,0	690	509,0	2,35					
9			6,36	1192,2	1194,7	693	501,7	2,38					
10	6,00	6,38	6,28	1192,9	1194,9	692	502,9	2,37	2,37	2,46	3,77	17,65	78,62
11			6,34	1200,8	1202,1	689	513,1	2,34					
12			6,26	1191,2	1192,7	695	497,7	2,39					
13	6,50	6,95	6,24	1186,5	1188,3	685	503,3	2,36	2,35	2,44	3,83	18,73	79,55
14			6,25	1191,8	1192,5	685	507,5	2,35					
15			6,23	1191,4	1193,1	683	510,1	2,34					
Especificaciones			mínimo								3	13	75
			máximo								5	-	82

Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 3.52: Estabilidad y fluencia de la mezcla modificada betuflex 60/85E.

N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del día	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura día del flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,50	4,71	1650	4424,90	0,99	4369,59	4128,55	12	10,33
2			1511	4050,60	0,98	3969,59		9	
3			1548	4150,23	0,98	4046,48		10	
4	5,00	5,26	1680	4505,68	1,00	4505,68	4430,24	9	10,33
5			1710	4586,47	1,02	4696,54		12	
6			1564	4193,32	0,98	4088,48		10	
7	5,50	5,82	1410	3778,63	1,27	4798,86	4632,60	11	10,67
8			1600	4290,26	1,00	4290,26		10	
9			1797	4820,74	1,00	4808,69		11	
10	6,00	6,38	1780	4774,96	1,02	4865,69	4452,22	13	12,00
11			1575	4222,94	1,00	4235,61		12	
12			1550	4155,62	1,02	4255,35		11	
13	6,50	6,95	1560	4182,55	1,03	4303,84	4009,56	13	13,33
14			1600	4290,26	1,03	4406,10		12	
15			1201	3215,83	1,03	3318,74		15	
Especificaciones			mínimo				1800		8
			máximo				-		16

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.53: Propiedades volumétricas de la mezcla con 0% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos			
	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 base-vacíos)
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	%	%	%
1	4,50	4,71	6,51	1170,3	1182,6	677	505,6	2,31	2,33	2,52	7,57	17,91	57,75	
2			6,56	1228,7	1234,1	710	524,1	2,34						
3			6,51	1199,9	1210,1	696	514,1	2,33						
4	5,00	5,26	6,31	1200,4	1204,8	699	505,8	2,37	2,37	2,50	5,19	16,88	69,24	
5			6,36	1157,7	1193,2	701	492,2	2,35						
6			6,34	1187,8	1190,8	693	497,8	2,39						
7	5,50	5,82	6,23	1184,9	1187,7	694	493,7	2,40	2,39	2,48	3,50	16,48	78,76	
8			6,21	1194,3	1197,0	695	502,0	2,38						
9			6,26	1189,9	1192,3	696	496,3	2,40						
10	6,00	6,38	6,16	1186,1	1187,2	695	492,2	2,41	2,40	2,46	2,32	16,53	85,94	
11			6,16	1190,7	1191,9	692	499,9	2,38						
12			6,18	1183,2	1183,9	693	490,9	2,41						
13	6,50	6,95	6,23	1193,5	1194,6	695	499,6	2,39	2,38	2,44	2,50	17,73	85,89	
14			6,27	1204,6	1205,0	698	507,0	2,38						
15			6,25	1191,3	1194,3	690	504,3	2,36						
Especificaciones			mínimo								3	13	75	
			máximo								5	-	82	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.54: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 0% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del día	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,50	4,71	1175	3145,82	0,96	3019,99	3000,70	12	11,33
2			1182	3164,67	0,95	3008,65		12	
3			1157	3097,35	0,96	2973,45		10	
4	5,00	5,26	1284	3439,33	1,01	3477,17	3348,50	10	9,67
5			1200	3213,14	1,00	3205,11		9	
6			1252	3353,16	1,00	3363,22		10	
7	5,50	5,82	1260	3374,71	1,27	4285,88	3642,04	13	12,33
8			1162	3110,81	1,04	3225,91		12	
9			1245	3334,31	1,02	3414,34		12	
10	6,00	6,38	1175	3145,82	1,05	3312,55	3372,78	15	14,00
11			1170	3132,35	1,05	3298,37		14	
12			1252	3353,16	1,05	3507,41		13	
13	6,50	6,95	1200	3213,14	1,03	3315,96	3113,64	17	16,67
14			1180	3159,28	1,02	3225,63		18	
15			1019	2725,74	1,03	2799,34		15	
Especificaciones			mínimo				1800		8
			máximo				-		16

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.55: Propiedades volumétricas de la mezcla con 0,5% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos		
	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 betún vacíos)
1	4,50	4,71	6,51	1198,2	1208,9	686	522,9	2,29	2,32	2,52	7,87	18,18	56,72
2			6,56	1192,4	1206,0	692	514,0	2,32					
3			6,51	1198,4	1203,0	695	508,0	2,36					
4	5,00	5,26	6,31	1167,4	1171,5	682	489,5	2,38	2,36	2,50	5,56	17,20	67,69
5			6,36	1204,5	1208,0	694	514,0	2,34					
6			6,34	1180,3	1187,0	686	501,0	2,36					
7	5,50	5,82	6,23	1180,7	1188,6	682	506,6	2,33	2,37	2,48	4,38	17,24	74,59
8			6,21	1181,7	1182,1	689	493,1	2,40					
9			6,26	1179,9	1182,9	688	494,9	2,38					
10	6,00	6,38	6,16	1180,1	1183,1	683	500,1	2,36	2,37	2,46	3,51	17,54	79,99
11			6,16	1166,9	1174,0	684	490,0	2,38					
12			6,18	1185,0	1187,3	688	499,3	2,37					
13	6,50	6,95	6,23	1181,5	1185,6	683	502,6	2,35	2,35	2,44	3,40	18,49	81,60
14			6,27	1189,8	1190,1	685	505,1	2,36					
15			6,25	1198,4	1199,9	691	508,9	2,35					
Especificaciones			mínimo								3	13	75
			máximo								5	-	82

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.56: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 0,5% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad	Estabilidad promedio	Lectura del dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,50	4,71	1440	3859,41	0,94	3632,86	4185,71	10	11,33
2			1480	3967,12	0,93	3704,50		12	
3			2000	5367,38	0,97	5219,78		12	
4	5,00	5,26	2024	5432,01	0,97	5269,05	5377,99	12	11,67
5			1978	5308,14	0,95	5056,00		11	
6			2087	5601,65	1,04	5808,91		12	
7	5,50	5,82	1900	5098,10	1,27	6474,59	5621,49	14	12,67
8			2080	5582,80	1,03	5761,45		12	
9			1650	4424,90	1,05	4628,44		12	
10	6,00	6,38	1504	4031,75	1,03	4160,77	4857,58	15	14,00
11			1870	5017,31	1,05	5263,16		13	
12			1840	4936,53	1,04	5148,80		14	
13	6,50	6,95	1454	3897,11	1,02	3978,95	3962,63	14	16,33
14			1380	3697,84	1,03	3816,17		17	
15			1464	3924,04	1,04	4092,77		18	
Especificaciones			mínimo				1800		8
			máximo					-	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.57: Propiedades volumétricas de la mezcla con 1% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos			
	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 betún vacíos)
1	4,50	4,71	6,44	1118,8	1122,2	655	467,2	2,39	2,30	2,52	8,90	19,10	53,39	
2			6,44	1221,4	1223,4	690	533,4	2,29						
3			6,14	1202,9	1204,9	660	544,9	2,21						
4	5,00	5,26	6,47	1188,6	1191,3	686	505,3	2,35	2,33	2,50	6,73	18,23	63,07	
5			6,49	1189,6	1196,0	686	510,0	2,33						
6			6,35	1176,1	1182,9	674	508,9	2,31						
7	5,50	5,82	6,35	1176,0	1176,4	679	497,4	2,36	2,35	2,48	5,33	18,06	70,49	
8			6,32	1177,1	1179,0	676	503,0	2,34						
9			6,30	1182,3	1184,1	678	506,1	2,34						
10	6,00	6,38	6,32	1183,9	1184,7	680	504,7	2,35	2,34	2,46	4,62	18,49	75,03	
11			6,33	1186,1	1188,0	680	508,0	2,33						
12			6,24	1178,7	1181,1	680	501,1	2,35						
13	6,50	6,95	6,35	1182,9	1183,8	673	510,8	2,32	2,31	2,44	5,30	20,09	73,62	
14			6,27	1193,1	1194,4	675	519,4	2,30						
15			6,28	1187,4	1188,1	674	514,1	2,31						
Especificaciones			mínimo								3	13	75	
			máximo								5	-	82	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.58: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 1% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,50	4,71	1450	3886,34	0,98	3798,90	5377,08	10	10,67
2			2305	6188,68	0,98	6049,44		12	
3			2210	5932,87	1,06	6282,91		10	
4	5,00	5,26	2092	5615,12	0,97	5446,66	5766,07	10	11,00
5			2300	6175,22	0,97	5959,09		11	
6			2195	5892,47	1,00	5892,47		12	
7	5,50	5,82	2100	5636,66	1,27	7158,56	6098,84	12	11,67
8			1900	5098,10	1,01	5138,88		12	
9			2206	5922,10	1,01	5999,08		11	
10	6,00	6,38	2100	5636,66	1,01	5681,75	5673,73	15	14,00
11			1470	3940,19	1,01	3959,90		13	
12			2670	7171,55	1,03	7379,53		14	
13	6,50	6,95	1410	3778,63	1,00	3778,63	4487,97	14	16,00
14			1640	4397,97	1,02	4490,33		16	
15			1900	5098,10	1,02	5194,96		18	
Especificaciones			mínimo				1800		8
			máximo				-		16

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.59: Propiedades volumétricas de la mezcla con 1,5% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Peso briqueta	Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos							
	Base mezcla	Base agregados			Altura promedio deprobeta	Seco	Sat. sup. seca	Sumergida enagua	Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíosmezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relaciónbetún vacíos)
1	4,50	4,71	6,73	1201,8	1206,2	686	520,2	2,31	2,30	2,52	8,99	19,17	53,12		
2			6,67	1204,8	1207,7	683	524,7	2,30							
3			6,64	1196,5	1206,0	681	525,0	2,28							
4	5,00	5,26	6,42	1175,8	1179,1	674	505,1	2,33	2,35	2,50	6,00	17,59	65,87		
5			6,33	1189,6	1190,6	689	501,6	2,37							
6			6,33	1162,2	1183,3	689	494,3	2,35							
7	5,50	5,82	6,35	1195,0	1198,6	688	510,6	2,34	2,38	2,48	4,03	16,94	76,18		
8			6,33	1170,4	1172,4	689	483,4	2,42							
9			6,59	1184,1	1185,5	687	498,5	2,38							
10	6,00	6,38	6,36	1087,1	1088,0	655	433,0	2,51	2,37	2,46	3,49	17,52	80,09		
11			6,53	1184,6	1186,6	668	518,6	2,28							
12			6,35	1168,7	1169,5	666	503,5	2,32							
13	6,50	6,95	6,42	1177,2	1177,6	672	505,6	2,33	2,32	2,44	4,93	19,78	75,07		
14			6,33	1179,3	1179,8	672	507,8	2,32							
15			6,29	1185,7	1186,8	671	515,8	2,30							
Especificaciones			mínimo								3	13	75		
			máximo								5	-	82		

Fuente: Elaboración propia



Tabla N°3.60: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 1,5% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad	Estabilidad promedio	Lectura del dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,50	4,71	3038	8162,51	0,92	7468,69	6921,51	10	11,00
2			3062	8227,13	0,93	7651,23		13	
3			2247	6032,50	0,94	5644,61		10	
4	5,00	5,26	3494	9390,42	0,98	9226,09	8090,49	10	11,33
5			2627	7055,76	1,01	7091,04		12	
6			2946	7914,77	1,01	7954,34		12	
7	5,50	5,82	2985	8019,79	1,27	10185,13	8116,87	10	11,67
8			2530	6794,56	1,01	6828,54		13	
9			2890	7763,97	0,95	7336,95		12	
10	6,00	6,38	3015	8100,57	1,00	8080,32	7047,36	12	13,00
11			2200	5905,94	0,96	5647,85		14	
12			2760	7413,91	1,00	7413,91		13	
13	6,50	6,95	2022	5426,62	0,98	5331,65	5456,85	12	14,00
14			2095	5623,19	1,01	5651,31		13	
15			1976	5302,75	1,02	5387,60		17	
Especificaciones			mínimo				1800		8
			máximo				-		16

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.61: Propiedades volumétricas de la mezcla con 2% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos			
	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 betún vacíos)
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm <sup>3</sup>	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%
1	4,50	4,71	6,74	1210,5	1214,1	690	524,1	2,31	2,32	2,52	8,13	18,42	55,83	
2			6,51	1198,5	1201,3	687	514,3	2,33						
3			6,65	1203,1	1206,8	686	520,8	2,31						
4	5,00	5,26	6,41	1173,4	1175,9	673	502,9	2,33	2,36	2,50	5,67	17,30	67,22	
5			6,32	1138,5	1142,5	677	465,5	2,45						
6			6,67	1213,1	1215,2	687	528,2	2,30						
7	5,50	5,82	6,35	1153,6	1154,8	680	474,8	2,43	2,36	2,48	4,91	17,70	72,25	
8			6,61	1177,4	1181,2	671	510,2	2,31						
9			6,56	1185,4	1187,8	680	507,8	2,33						
10	6,00	6,38	6,21	1159,7	1163,5	689	474,5	2,44	2,32	2,46	5,44	19,19	71,67	
11			6,52	1176,1	1179,0	650	529,0	2,22						
12			6,35	1165,0	1167,4	662	505,4	2,31						
13	6,50	6,95	6,59	1189,4	1191,2	650	541,2	2,20	2,25	2,44	7,56	22,00	65,65	
14			6,53	1172,4	1174,0	661	513,0	2,29						
15			6,65	1205,3	1205,9	676	529,9	2,27						
Especificaciones			mínimo							3	13	75		
			máximo							5	-	82		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.62: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 2% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad	Estabilidad promedio	Lectura del dial flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,50	4,71	3038	8162,51	0,91	7448,29	6993,16	10	11,67
2			3062	8227,13	0,96	7898,05		11	
3			2247	6032,50	0,93	5633,15		14	
4	5,00	5,26	3494	9390,42	0,99	9249,57	7907,50	12	11,67
5			2627	7055,76	1,01	7112,21		12	
6			2946	7914,77	0,93	7360,73		11	
7	5,50	5,82	2985	8019,79	1,27	10185,13	7987,35	10	12,67
8			2530	6794,56	0,94	6395,72		13	
9			2890	7763,97	0,95	7381,21		15	
10	6,00	6,38	3015	8100,57	1,04	8400,29	7157,56	16	14,00
11			2200	5905,94	0,96	5658,48		13	
12			2760	7413,91	1,00	7413,91		13	
13	6,50	6,95	2022	5426,62	0,95	5128,16	5152,44	15	15,67
14			2095	5623,19	0,96	5377,46		15	
15			1976	5302,75	0,93	4951,71		17	
Especificaciones			mínimo				1800		8
			máximo					-	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.63: Propiedades volumétricas de la mezcla con 2,5% polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos		
	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 betón vacíos)
1	4,50	4,71	6,64	1211,5	1216,5	685	531,5	2,28	2,29	2,52	9,00	19,19	53,08
2			6,59	1192,5	1196,7	680	516,7	2,31					
3			6,85	1206,2	1210,1	685	525,1	2,30					
4	5,00	5,26	6,41	1184,5	1189,0	681	508,0	2,33	2,36	2,50	5,77	17,39	66,82
5			6,59	1174,5	1179,2	685	494,2	2,38					
6			6,50	1187,7	1190,3	687	503,3	2,36					
7	5,50	5,82	6,58	1156,4	1160,9	684	476,9	2,42	2,37	2,48	4,22	17,10	75,31
8			6,55	1174,9	1178,5	687	491,5	2,39					
9			6,55	1177,4	1180,2	670	510,2	2,31					
10	6,00	6,38	6,30	1158,0	1160,9	688	472,9	2,45	2,36	2,46	4,11	18,05	77,24
11			6,53	1184,4	1189,2	681	508,2	2,33					
12			6,46	1170,9	1173,1	662	511,1	2,29					
13	6,50	6,95	6,53	1167,1	1174,7	660	514,7	2,27	2,29	2,44	6,10	20,77	70,63
14			6,43	1141,9	1146,6	660	486,6	2,35					
15			6,51	1170,0	1175,0	655	520,0	2,25					
Especificaciones			mínimo								3	13	75
			máximo								5	-	82

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.64: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 2,5% polipropileno.

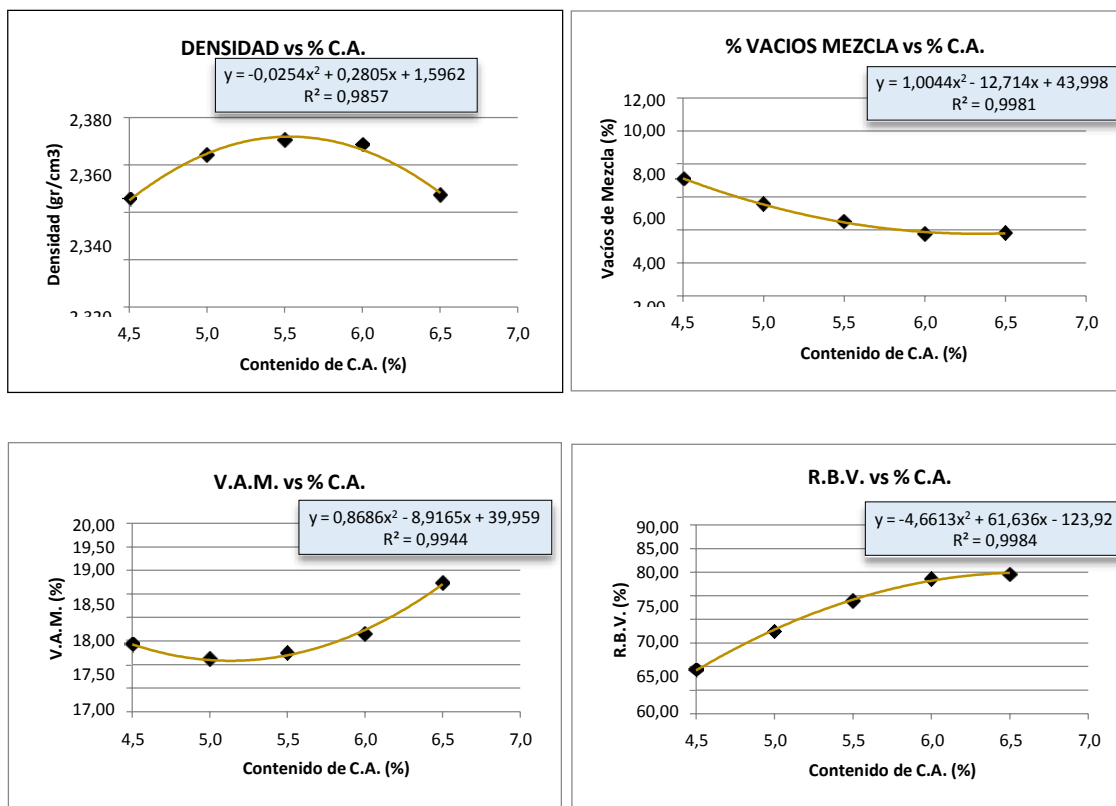
N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,50	4,71	2670	7171,55	0,94	6710,42	7873,00	14	12,00
2			3000	8060,18	0,95	7616,87		10	
3			3900	10483,70	0,89	9291,70		12	
4	5,00	5,26	2880	7737,04	0,99	7620,99	8138,07	10	10,67
5			3150	8464,10	0,95	7998,57		11	
6			3400	9137,30	0,96	8794,65		11	
7	5,50	5,82	2900	7790,90	1,27	9894,44	8330,86	10	11,00
8			3000	8060,18	0,95	7677,32		13	
9			2900	7790,90	0,95	7420,83		10	
10	6,00	6,38	3000	8060,18	1,01	8164,96	8132,37	16	14,00
11			3490	9379,65	0,96	8969,76		13	
12			2780	7467,76	0,97	7262,40		13	
13	6,50	6,95	2500	6713,78	0,96	6420,39	7539,08	16	16,33
14			3800	10214,42	0,98	10010,13		16	
15			2400	6444,50	0,96	6186,72		17	
Especificaciones			mínimo				1800		8
			máximo				-		16

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.7 Determinación de porcentaje óptimo de cemento asfáltico

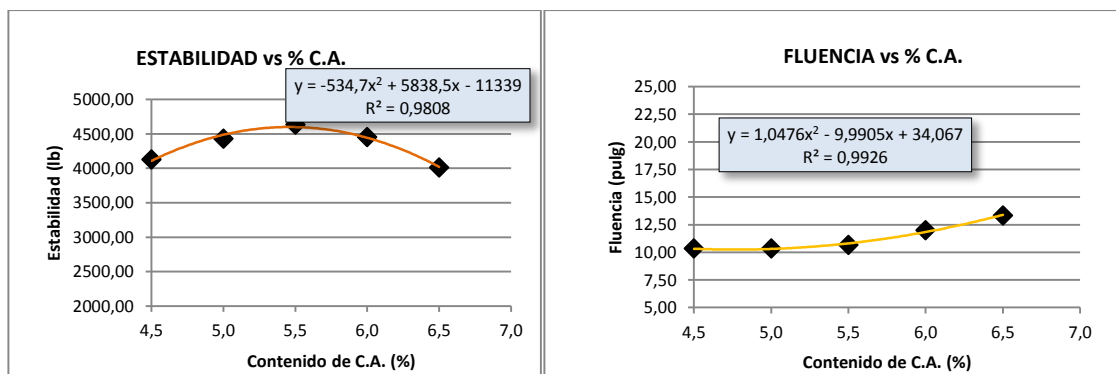
Según los resultados obtenidos de las tablas de propiedades Marshall, se procede a graficar en el eje X, los porcentajes de cemento asfáltico y en el eje Y, los valores de las propiedades Marshall, de mezcla modificada betuflex 60/85E y para cada porcentaje de fibra de polipropileno, como se muestra a continuación:

Gráfico N°3.5: Curvas de propiedades volumétricas Marshall para betuflex 60/85E.



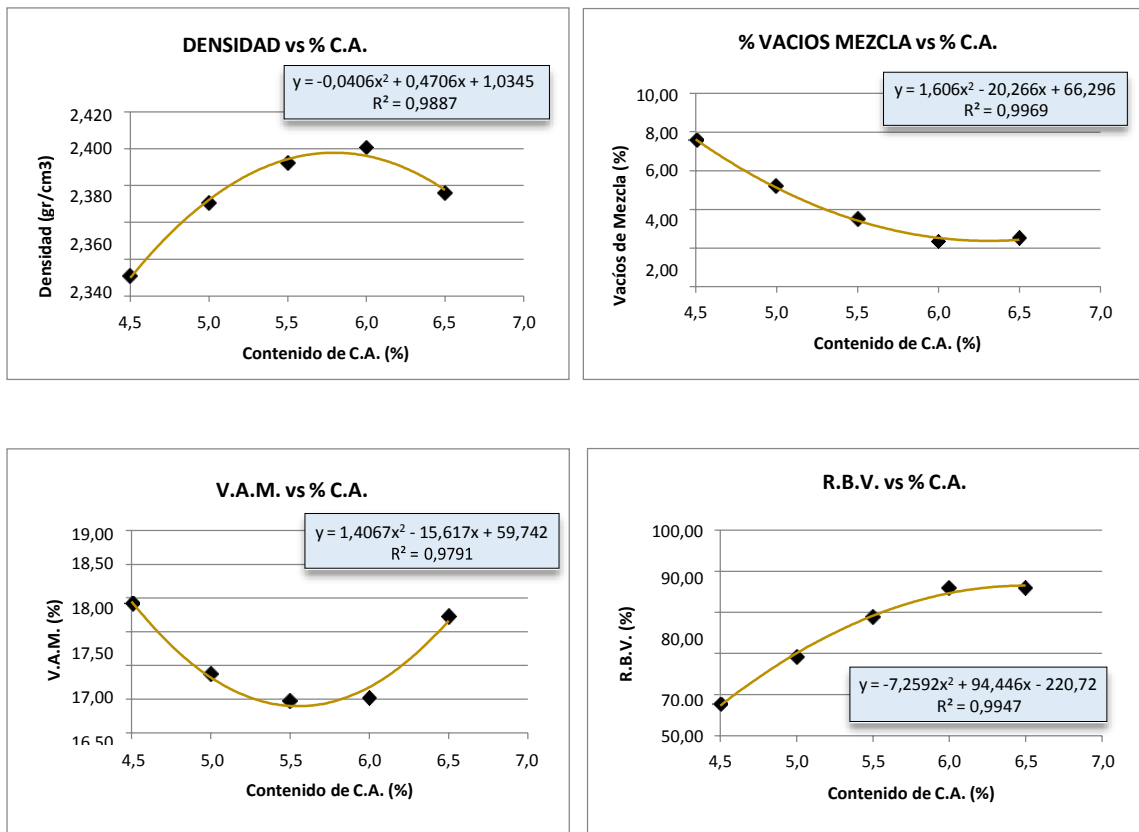
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.6: Curvas de propiedades mecánicas Marshall para betuflex 60/85E.



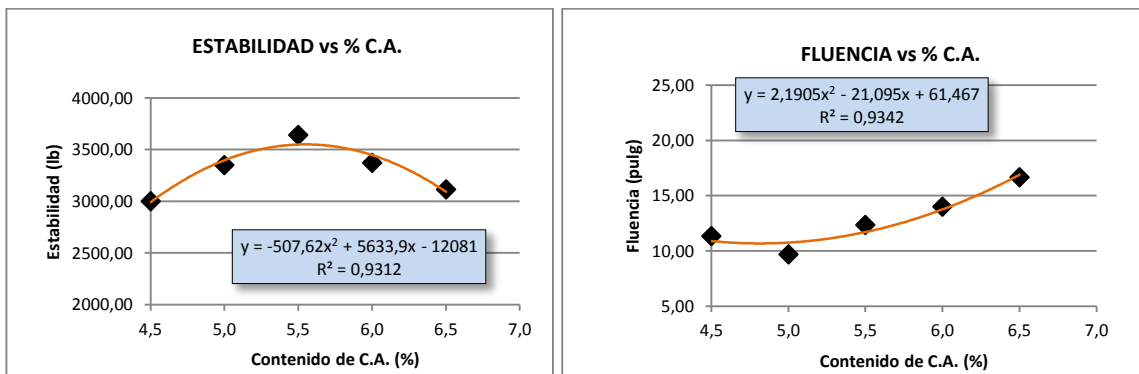
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.7: Curvas de propiedades volumétricas Marshall 0% polipropileno.



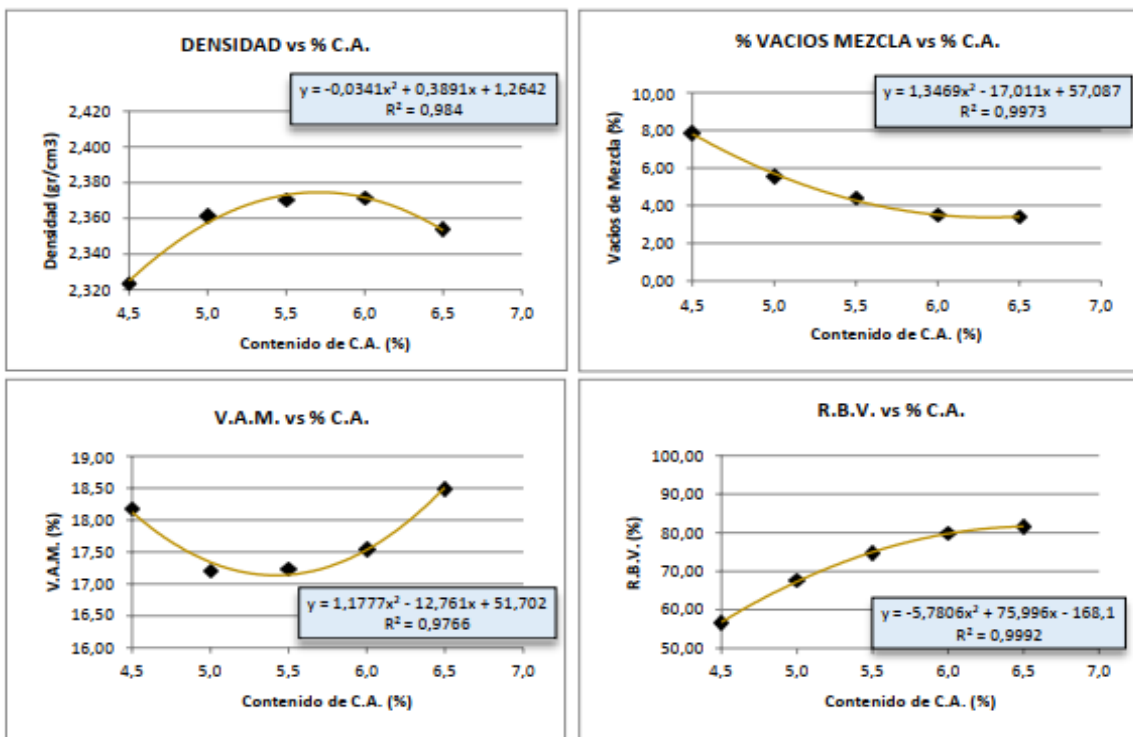
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.8: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall 0% polipropileno



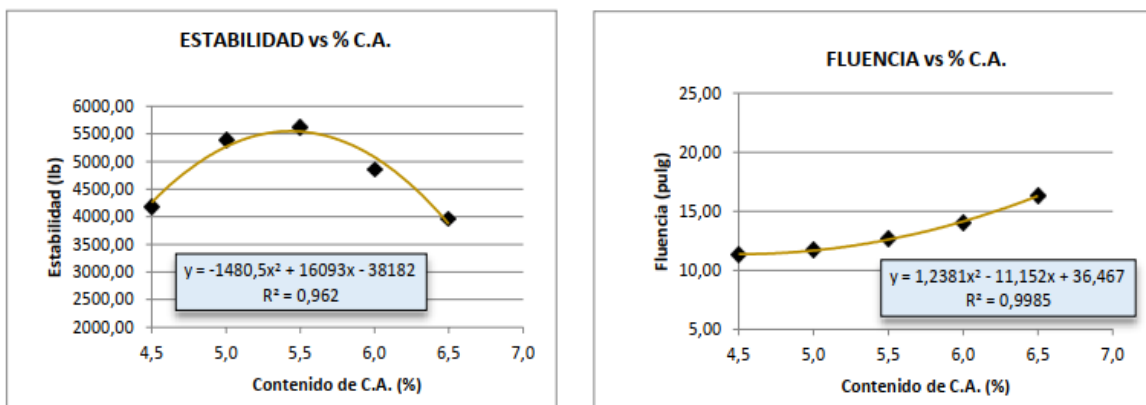
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.9: Curvas de propiedades volumétricas Marshall 0,5% polipropileno



Fuente: Elaboración propia

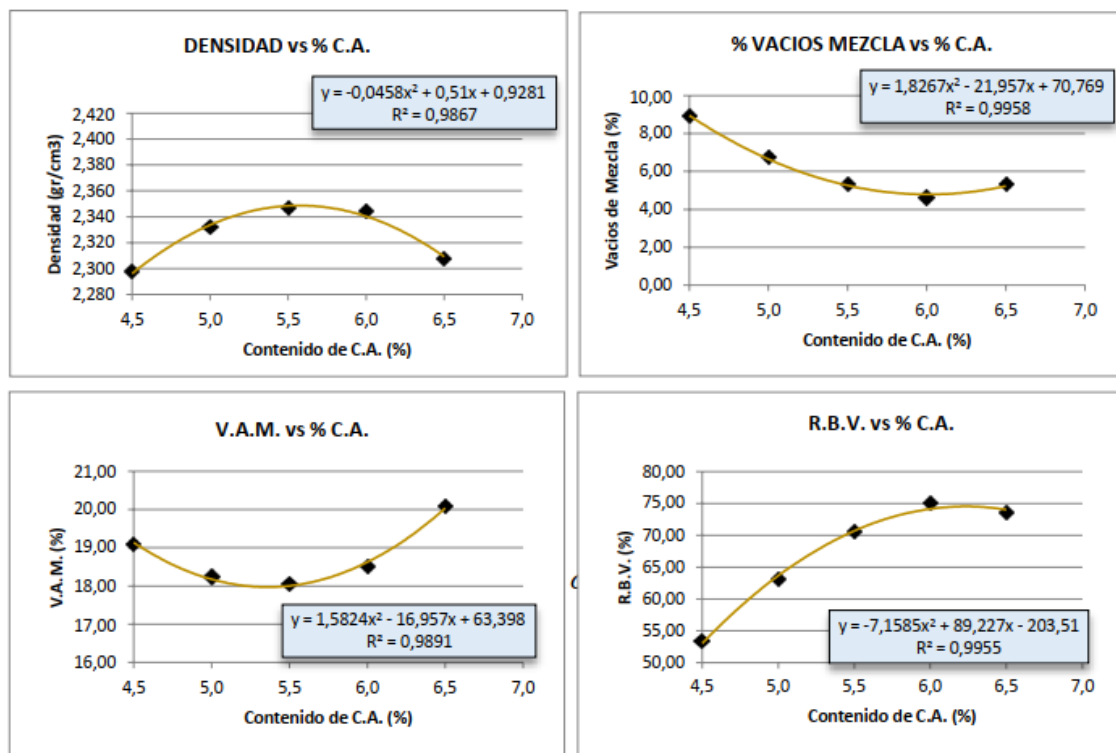
Gráfico N°3.10: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall 0,5% polipropileno.



Fuente: Elaboración propia

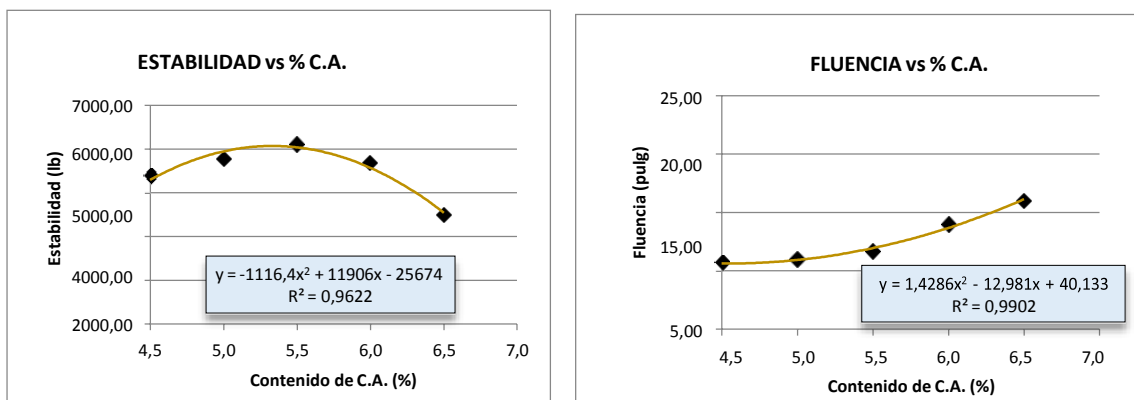


Gráfico N°3.11: Curvas de propiedades volumétricas Marshall 1% polipropileno.



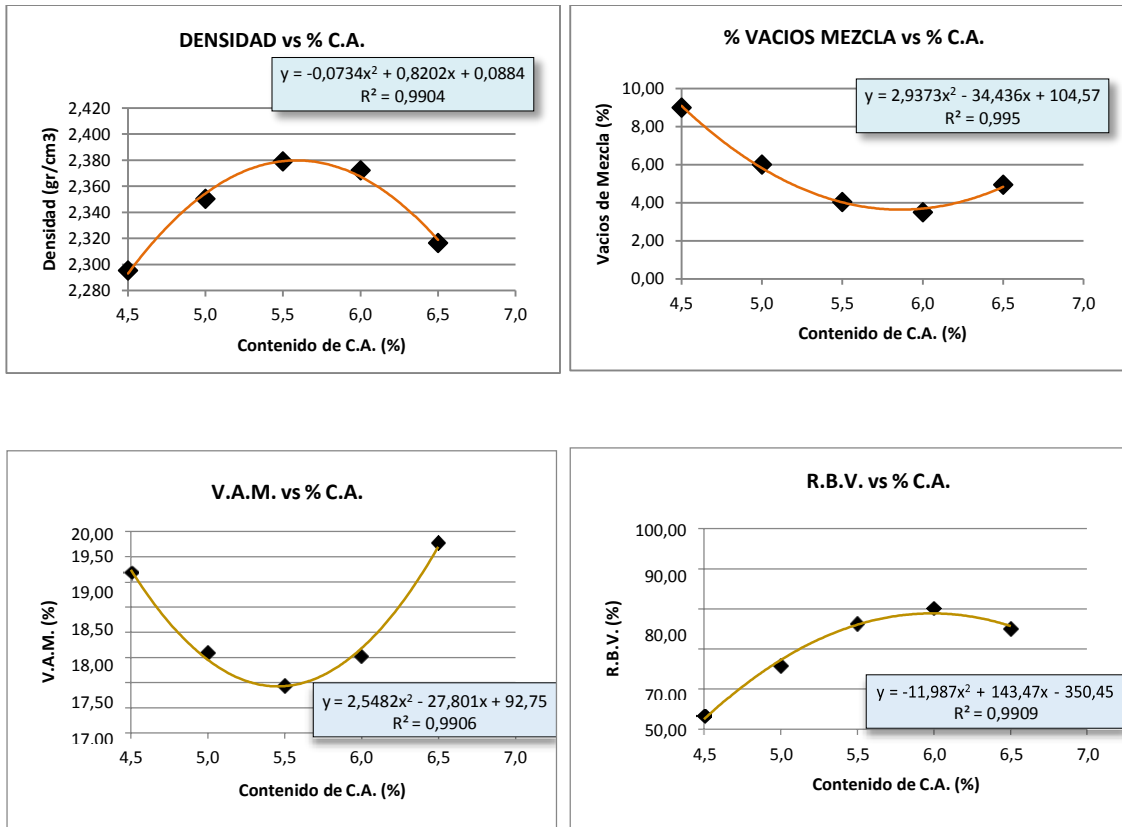
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.12: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 1 % polipropileno.



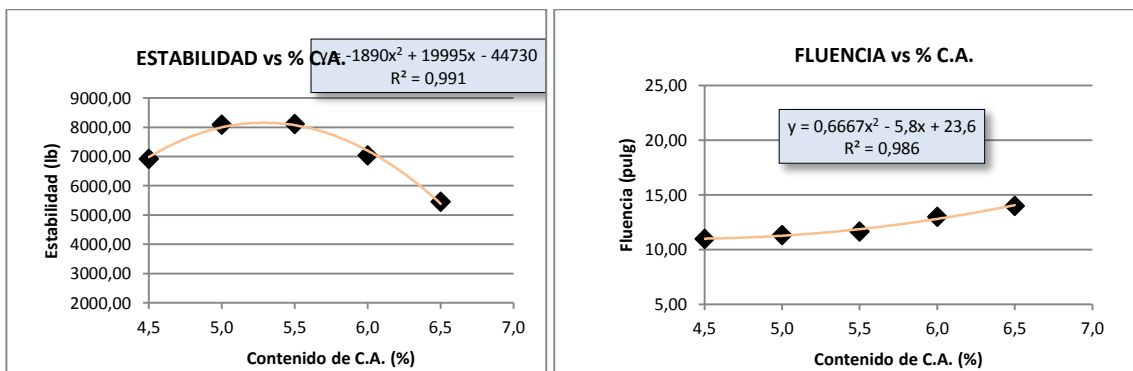
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.13: Curvas de propiedades volumétricas Marshall 1,5% polipropileno.



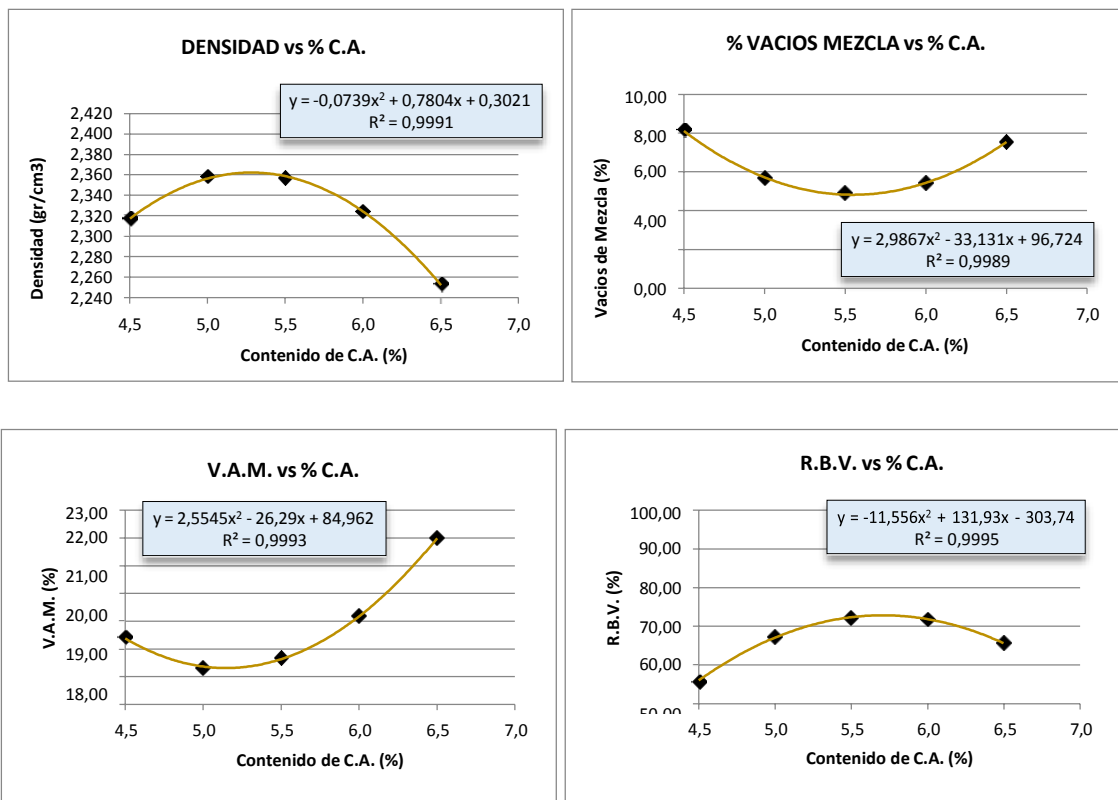
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.14: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall 1,5 % polipropileno.



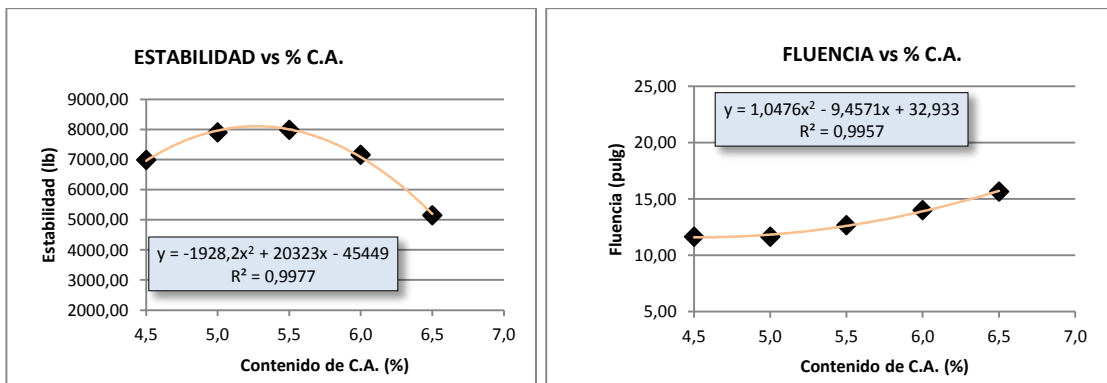
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.15: Curvas de propiedades volumétricas Marshall 2% polipropileno.



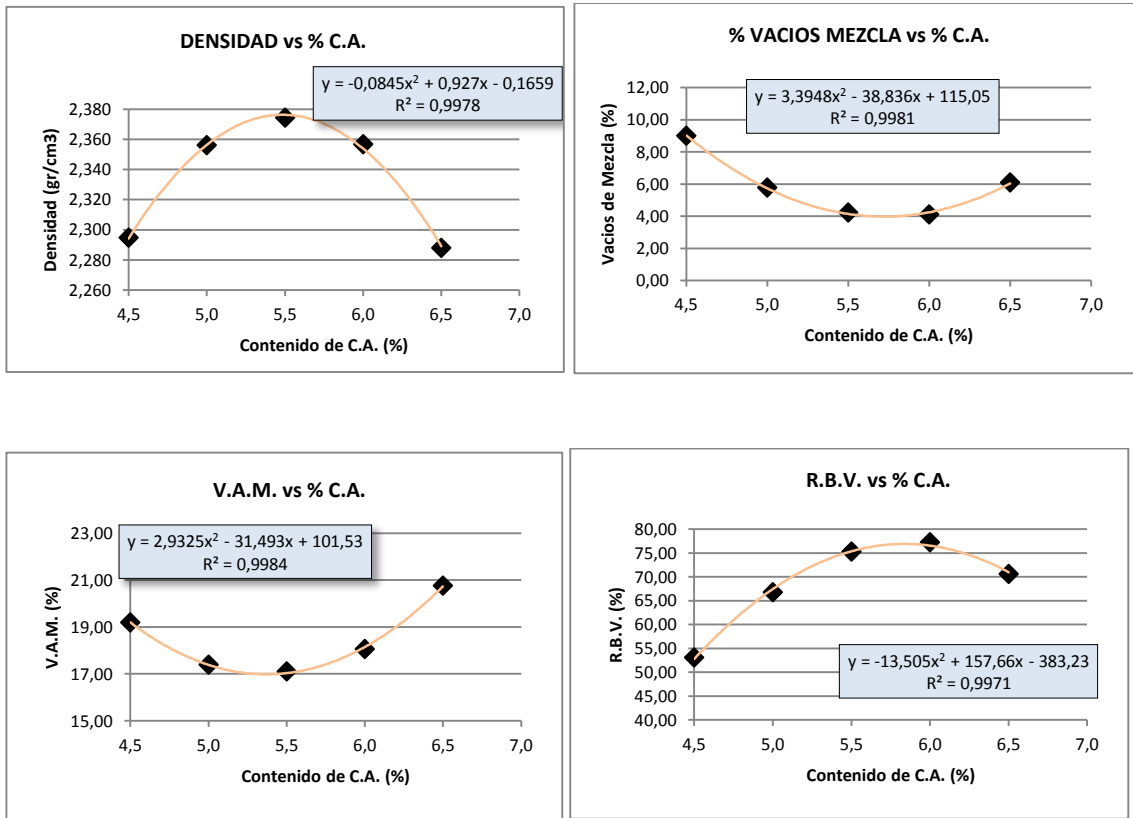
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.16: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall 2 % polipropileno.



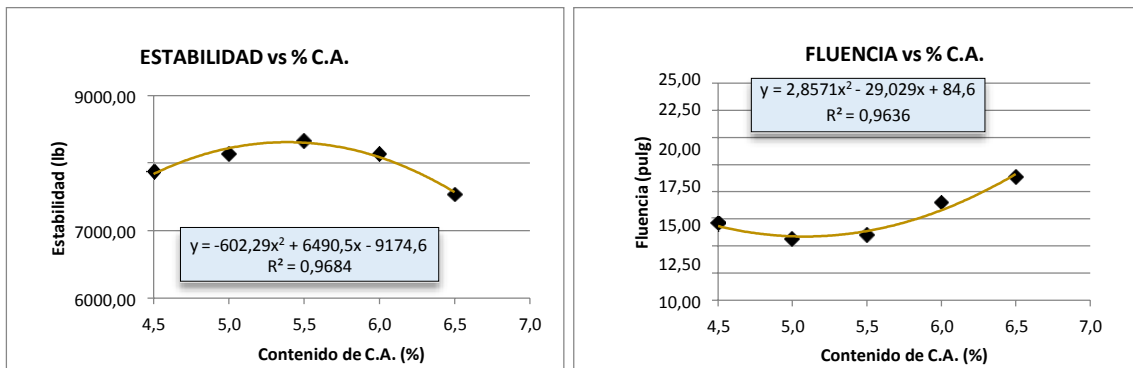
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.17: Curvas de propiedades volumétricas Marshall 2,5% polipropileno.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.18: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall 2,5% polipropileno.



Fuente: Elaboración propia

Con las ecuaciones de las curvas de densidad, estabilidad y % de vacíos de la mezcla se procede a calcular el porcentaje óptimo de cemento asfáltico modificado betuflex 60/85E y para cada variación de mezcla modificada con fibra de polipropileno, cumpliendo los siguientes criterios:

- Porcentaje de cemento asfáltico que genere la densidad máxima.
- Porcentaje de cemento asfáltico que genere la estabilidad máxima.
- Porcentaje de cemento asfáltico que genere el promedio de 3 y 5 % de vacíos de la mezcla, es decir, el contenido de asfalto que genere el 4% de vacíos de la mezcla.

Con los siguientes porcentajes, se obtiene un promedio, dicho promedio es el porcentaje óptimo de cemento asfáltico como se muestra en las siguientes tablas para cada porcentaje de polipropileno.

Tabla N° 3.65: Porcentaje óptimo de C.A. modificada con betuflex 60/85E.

Propiedad Marshall	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad máxima (Lb)	4598,95	5,46
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,37	5,52
Vacíos de la mezcla (%)	4,00	5,84
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%)	5,49

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.66: Porcentaje óptimo de C.A. convencional con 0% polipropileno.

Propiedad Marshall	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad máxima (Lb)	3551,18	5,55
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,40	5,80
Vacíos de la mezcla (%)	4,00	5,30
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%)	5,55

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.67: Porcentaje óptimo de C.A. modificada con 0,5% polipropileno.

Propiedad Marshall	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad máxima (Lb)	5550,63	5,43
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,37	5,71
Vacíos de la mezcla (%)	4,00	5,64
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%)	5,59

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.68: Porcentaje óptimo de C.A. modificada con 1% polipropileno.

Propiedad Marshall	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad máxima (Lb)	6069,29	5,33
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,35	5,57
Vacíos de la mezcla (%)	4,79	6,01
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%)	5,64

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.69: Porcentaje óptimo de C.A.modificada con 1,5 % polipropileno.

Propiedad Marshall	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad máxima (Lb)	8153,60	5,29
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,38	5,59
Vacíos de la mezcla (%)	4,00	5,51
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%)	5,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.70: Porcentaje óptimo de C.A.modificada con 2 % polipropileno.

Propiedad Marshall	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad máxima (Lb)	8101,50	5,27
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,36	5,28
Vacíos de la mezcla (%)	4,84	5,55
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%)	5,37

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.71: Porcentaje óptimo de C.A.modificada con 2,5% polipropileno.

Propiedad Marshall	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad máxima (Lb)	8311,41	5,39
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,71	5,49
Vacíos de la mezcla (%)	4,00	5,64
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%)	5,50

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV**

# **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS**



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS

#### 4.1 Resumen de resultados de caracterización de los componentes de la mezclas asfáltica de diseño

Los resultados obtenidos de la caracterización de los agregados y de los cementos asfálticos modificados, son comparados con las especificaciones y propuestos por la norma ASTM.

Tabla N° 4.1: Resultados de la caracterización de los agregados pétreos

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultado	ASTM
		Mín.	Máx.		
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	Grava 3/4"	-	-	2,73 gr/cm <sup>3</sup>	C-127
	Gravilla 3/8"	-	-	2,69 gr/cm <sup>3</sup>	
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	Arena	-	-	2,74 gr/cm <sup>3</sup>	C-128
Peso unitario compactado	Grava 3/4"	-	-	1,492 gr/cm <sup>3</sup>	C-29
	Gravilla 3/8"	-	-	1,495 gr/cm <sup>3</sup>	
	Arena	-	-	1,848 gr/cm <sup>3</sup>	
Equivalente de arena	Arena	50%	-	95,71%	D-2419
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	Grava 3/4"	-	35%	28,27%	C-131
	Gravilla 3/8"	-	35%	29,19%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.2: Resultados de ensayos de caracterización C.A. 85-100

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso específico	1	1,05	1,014 gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D-70
Punto de ablandamiento	41,4	53,2	46 °C	ASTM D-36
Punto de inflamación	232	-	283 °C	ASTM D-92
Penetración	85	100	100 mm	ASTM D-5
Ductilidad	100	-	117 cm	ASTM D-102
Película delgada en horno	-	1	0,84%	ASTM D-1754
Viscosidad saybolt furol	85	-	262,8	ASTM D- 88

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.3: Resultados de ensayos de caracterización C.A. betuflex 60/85E

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso específico	1	1,05	1,024 gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D-70
Punto de ablandamiento	41,4	53,2	42°C	ASTM D-36
Punto de inflamación	232	-	296 °C	ASTM D-92
Penetración	85	100	95 mm	ASTM D-5
Ductilidad	100	-	116 cm	ASTM D-102
Película delgada en horno	-	1	0,37%	ASTM D-1754
Viscosidad saybolt furol	85	-	242,1	ASTM D- 88

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 Contenidos óptimos de cemento asfáltico de las mezclas modificadas.

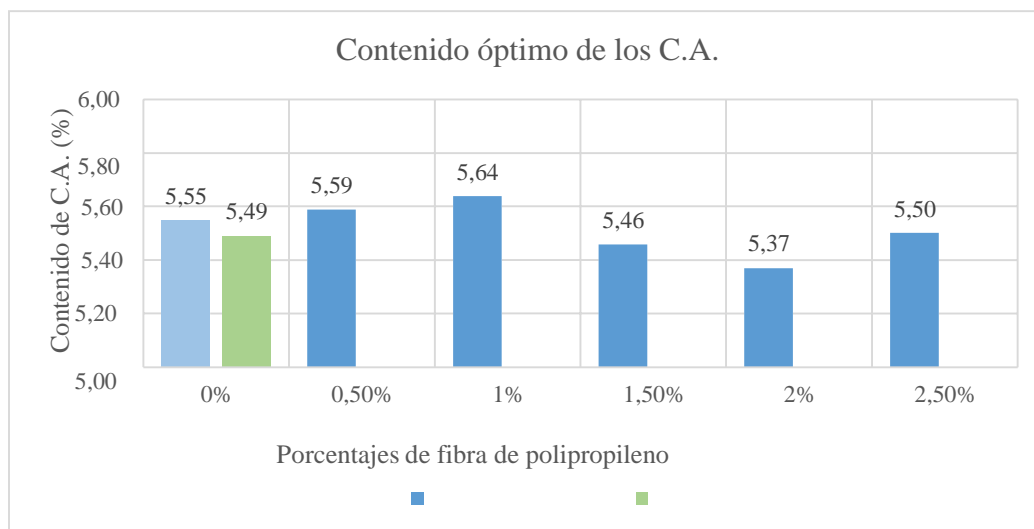
Los resultados obtenidos de los contenidos óptimos de los cementos asfálticos modificados y del convencional no adicionando fibras de polipropileno.

Tabla N° 4.4: Resultados de los contenidos óptimos de los cementos asfálticos.

Tipo de mezcla asfáltica		Contenido óptimo de cemento asfáltico
Mezcla modificada con betuflex		5,49
Mezcla convencional sin polipropileno	0%	5,55
Mezcla modificada con polipropileno	0,5%	5,59
	1%	5,64
	1,5%	5,46
	2%	5,37
	2,5%	5,50

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.1: Representación gráfica del contenido óptimo de los C.A.



Fuente: Elaboración propia

La mezcla con el 0% de polipropileno es convencional y su contenido óptimo de asfalto igual a 5,55%, representa el porcentaje comparativo respecto a los valores de las mezclas modificadas con betuflex y diferentes porcentajes de fibra de polipropileno.

Por lo tanto, con betuflex el contenido de asfalto es menor al convencional con un 5,49%. Sin embargo, con los porcentajes de Polipropileno, varían los contenidos óptimos de asfalto, como ser: para el 0,5% de polipropileno el contenido de asfalto óptimo es de 5,59%; luego para el 1% de polipropileno el contenido de asfalto óptimo es de 5,64%; para el 1,5% de polipropileno el contenido de asfalto óptimo es de 5,46%; para el 2% de polipropileno el contenido de asfalto óptimo es de 5,37% y para el 2,5% de polipropileno el contenido de asfalto óptimo es de 5,50%.

#### **4.3 Análisis del comportamiento de las propiedades Marshall según el contenido de fibra de polipropileno.**

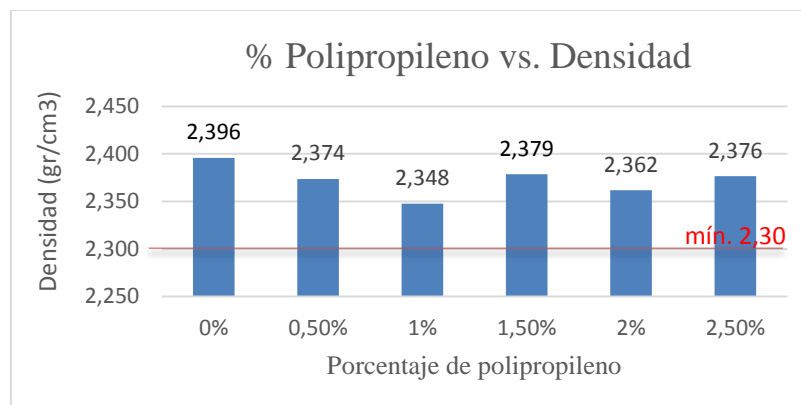
A partir de los contenidos óptimos de cemento asfáltico para cada porcentaje de polipropileno, se determinan reemplazando este valor en sus ecuaciones, los siguientes resultados de las propiedades Marshall, que permitirán determinar a su vez el contenido óptimo de fibra de polipropileno.

Tabla N° 4.5: Resultados óptimos de propiedades Marshall de mezclas modificadas con fibra polipropileno

Propiedades Marshall	Variación de porcentajes de polipropileno					
	0%	0,50%	1%	1,50%	2%	2,50%
Densidad	2,396	2,374	2,348	2,379	2,362	2,376
Estabilidad	3551,18	5515,06	5963,60	8098,78	8082,20	8303,50
Fluencia	11,86	12,82	12,36	11,81	12,36	11,37
V.A.M.	16,40	17,17	18,10	16,92	17,45	17,03
R.B.V.	79,83	76,08	72,02	75,54	71,48	75,40
% Vacíos	3,29	4,08	5,04	4,12	4,94	4,14

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.2: Resultados finales de densidades de la mezcla modificada

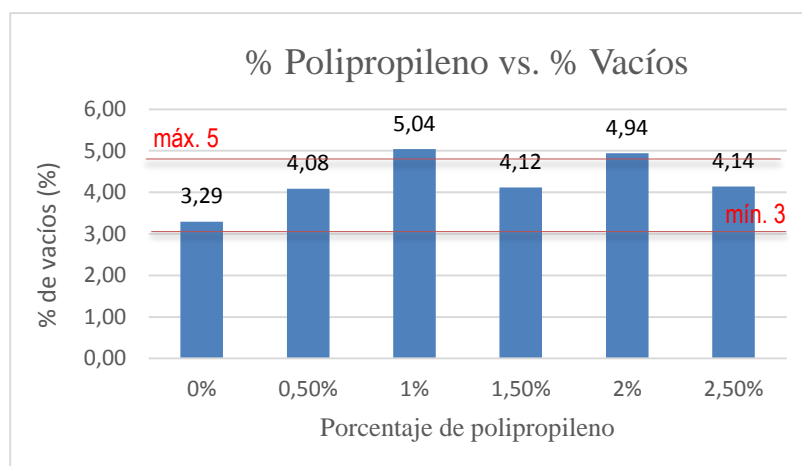


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.2 se observa que para la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno tiene una densidad elevada de 2,396 gr/cm<sup>3</sup>, sin embargo, ante la presencia de fibra de polipropileno se observa una disminución considerable de densidad. Porque la densidad para el 0,5% de fibra de polipropileno es 2,374 gr/cm<sup>3</sup>, para el 1% de fibra de polipropileno es 2,348 gr/cm<sup>3</sup>, sin embargo, nuevamente se observa un ascenso de 1,5% de fibra de polipropileno con densidad de 2,379 gr/cm<sup>3</sup>, para el 2% de fibra de polipropileno es 2,362 gr/cm<sup>3</sup> y para 2,50% de fibra de polipropileno su densidad es 2,376 gr/cm<sup>3</sup>.

La densidad máxima con presencia de fibra de polipropileno corresponde al 1,5 % de fibra de polipropileno y la densidad mínima corresponde al 1 % de fibra de polipropileno.

Gráfico N°4.3: Resultados finales del % de vacíos en las mezclas modificadas

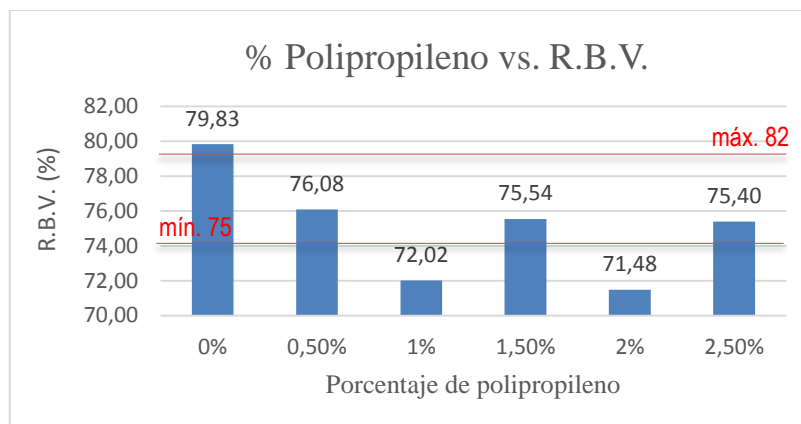


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.3 se observa que para la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno tiene un porcentaje de vacíos de 3,29%, sin embargo ante la presencia de 0,5% de fibra de polipropileno se observa un aumento considerable de 4,08% de porcentaje de vacíos, para el 1% de fibra de polipropileno el porcentaje de vacíos es 5,04% fuera de la norma, para el 1,5% de fibra de polipropileno el porcentaje de vacíos sea dentro en el rango de la norma de 4,12%, sin embargo nuevamente se observa un aumento de 2% de fibra de polipropileno con porcentaje de vacíos de 4,94%, para el 2,5% de fibra de polipropileno es de 4,14% de vacíos.

El porcentaje máximo con presencia de fibra de polipropileno corresponde al 2 % de fibra de polipropileno y la mínima corresponde al 0,5% de fibra de polipropileno.

Gráfico N°4.4: Resultados finales de R.B.V en las mezclas modificadas



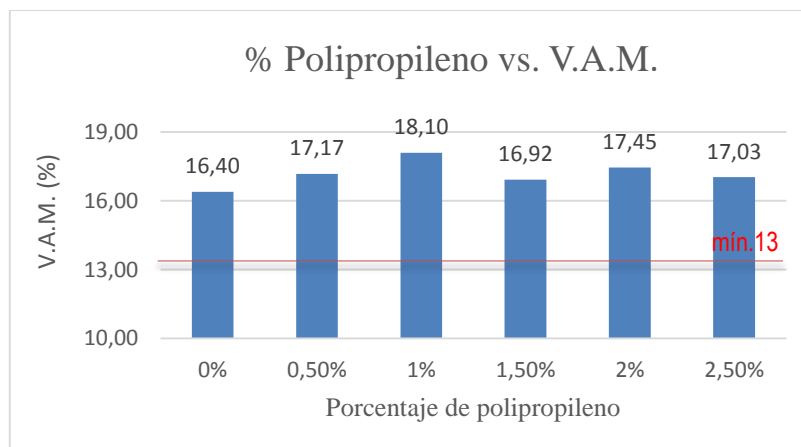
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.4 se observa que para la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno tiene un aumento significativo de R.B.V. del 79,83 %, sin embargo ante la presencia del 0,5% de fibra de polipropileno se observa una disminución considerable de R.B.V. del 76,08%, para R.B.V del 1 % de fibra de polipropileno es 72,02%, para un 1,50% de fibra de polipropileno la R.B.V es de 16,92%, sin embargo para un 2% de fibra de polipropileno se evidencia una disminución baja de R.B.V. del 71,48% y para 2,50% de fibra de polipropileno la R.B.V. es del 75,40%.

La R.B.V. máxima con presencia de fibra de polipropileno corresponde al 0,5% de fibra de polipropileno y la mínima corresponde al 2% de fibra de polipropileno.

Es importante resaltar que todos los resultados de los vacíos del agregado mineral están en el rango de (75-82).

Gráfico N°4.5: Resultados finales de V.A.M. en las mezclas modificadas



Fuente: Elaboración propia

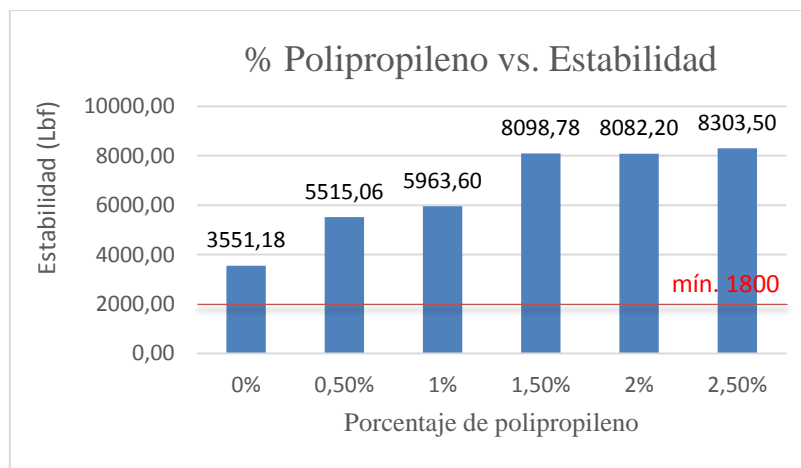
En la gráfica 4.5 se observa que para la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno tiene un agregado mineral del 16,40 %, sin embargo ante la presencia del 0,5% de fibra de polipropileno se observa un aumento considerable de vacíos de agregado mineral del 17,17%, para los vacíos de agregado mineral 1 % de fibra de polipropileno es 18,10% ,sin embargo nuevamente se observa un descenso de 1,5% de fibra de polipropileno de vacíos de agregado mineral del 16,92%, para el 2% de fibra de polipropileno es 17,45% y para 2,50% de fibra de polipropileno su vacíos de agregado mineral es del 17,03%.

Los vacíos de agregado mineral máxima con presencia de fibra de polipropileno corresponden al 1% de fibra de polipropileno y la mínima corresponde al 1,5% de fibra de polipropileno.

Es importante resaltar que todos los resultados de los vacíos del agregado mineral están en el rango mínimo de 13.



Gráfico N°4.6: Resultados finales estabilidades en mezclas modificadas

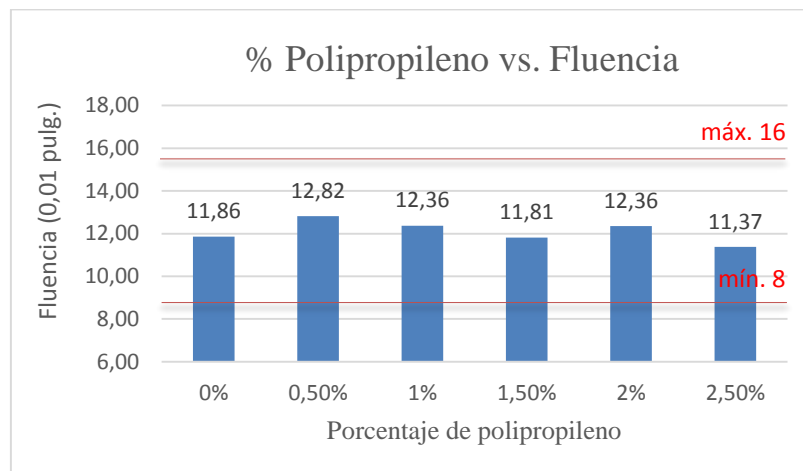


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.6 se observa que para la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno que tiene una estabilidad de 3551,18 Lbf, sin embargo ante la presencia de 0,5% de fibra de polipropileno se observa un aumento considerable de una estabilidad de 5515,06 Lbf, para la estabilidad el 1% de fibra de polipropileno es de 5963,60 Lbf, , sin embargo nuevamente se observa un ascenso representativo para el 1,5% de fibra de polipropileno con una estabilidad de 8098,78 Lb/f ,para el 2% de fibra de polipropileno existe un descenso poco significativo con estabilidad de 8082,20 Lbf y para 2,50% de fibra de polipropileno tiene una estabilidad 8303,50 Lbf.

La estabilidad la que se ajusta más a nuestro porcentaje óptimo con presencia de fibra de polipropileno corresponde al 1,5 % de fibra de polipropileno y la estabilidad mínima corresponde al 0,5 % de fibra de polipropileno.

Gráfico N°4.7: Resultados finales fluencia en mezclas modificadas



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.7 con 0% de fibra de polipropileno tiene una fluencia 11,86 pulg. , ante la presencia de 0,5% de fibra de polipropileno se observa un aumento poco significativo de fluencia 12,82 pulg. Para la fluencia 1% de fibra de polipropileno es de 12,36 pulg. Sin embargo, nuevamente se observa un descenso representativo para el 1,5% de fibra de polipropileno con una fluencia de 11,81 pulg. Para el 2% de fibra de polipropileno la fluencia es 12,36 pulg, para 2,5% de fibra de polipropileno la fluencia es 11,37 pulg.

La fluencia la que se ajusta más a nuestro porcentaje óptimo con presencia de fibra de polipropileno corresponde al 1,5 % y la fluencia mínima corresponde al 2,5 % de adicionado de fibra de polipropileno.

#### 4.4 Determinación del contenido óptimo de fibra de polipropileno

Para determinar el contenido óptimo de fibra de polipropileno, se aplican los tres criterios Marshall:

- Contenido de fibra de polipropileno que tenga la densidad máxima.
- Contenido de fibra de polipropileno que tenga la estabilidad máxima.
- Contenido de fibra de polipropileno más próximo a 4% de vacíos, que representa el promedio de 3 a 5 % de vacíos de la mezcla densa.

Aplicando los criterios establecidos, se obtienen tres porcentajes de fibra de polipropileno, los mismos que al ser promediados, dan como resultado el contenido óptimo de fibra de polipropileno, como se observa en la siguiente tabla:

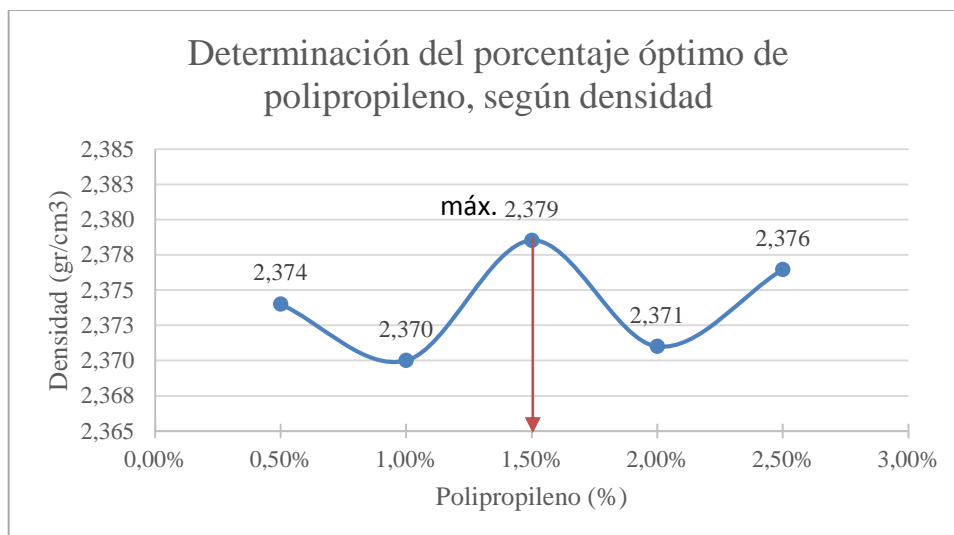
Tabla 4.6: Determinación del porcentaje óptimo de la fibra de polipropileno

Propiedades para determinar el % óptimo	Porcentajes de polipropileno						Criterios aplicados
	0%	0,50%	1%	1,50%	2%	2,50%	
Densidad	2,396	2,374	2,370	2,379	2,371	2,376	Estabilidad máxima
Estabilidad	3551,18	5515,06	5963,60	8098,78	7036,25	6535,40	Densidad máxima
% Vacíos	3,29	4,58	5,04	4,12	4,94	4,72	Más próximo a 4 (promedio 3 y 5)

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 4.6, se obtienen los siguientes gráficos:

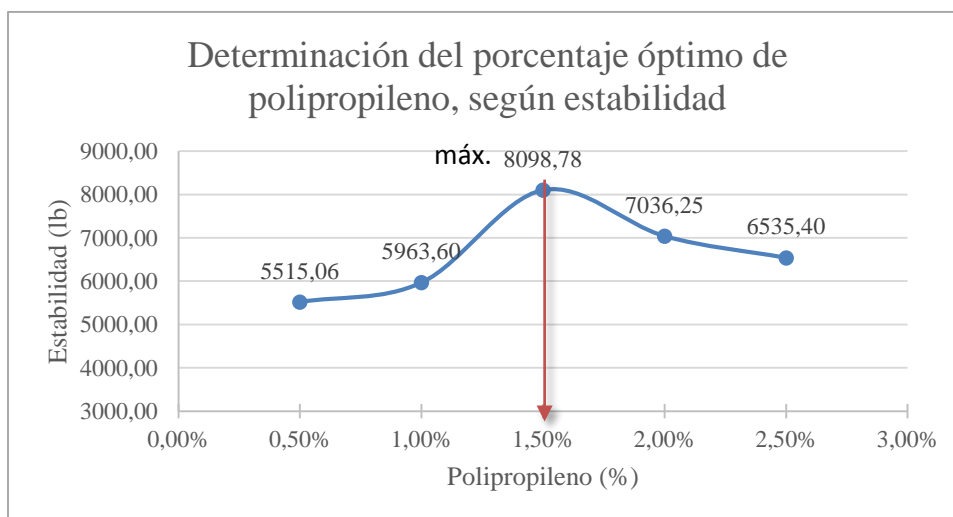
Gráfico 4.8. Determinación del porcentaje óptimo de polipropileno, según densidad



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.8, se observa que la densidad máxima se genera al 1,50% de polipropileno, con una densidad del 2,379 gr/cm<sup>3</sup>, esta propiedad es importante, porque es un sinónimo de resistencia en este caso por ser mezcla densa.

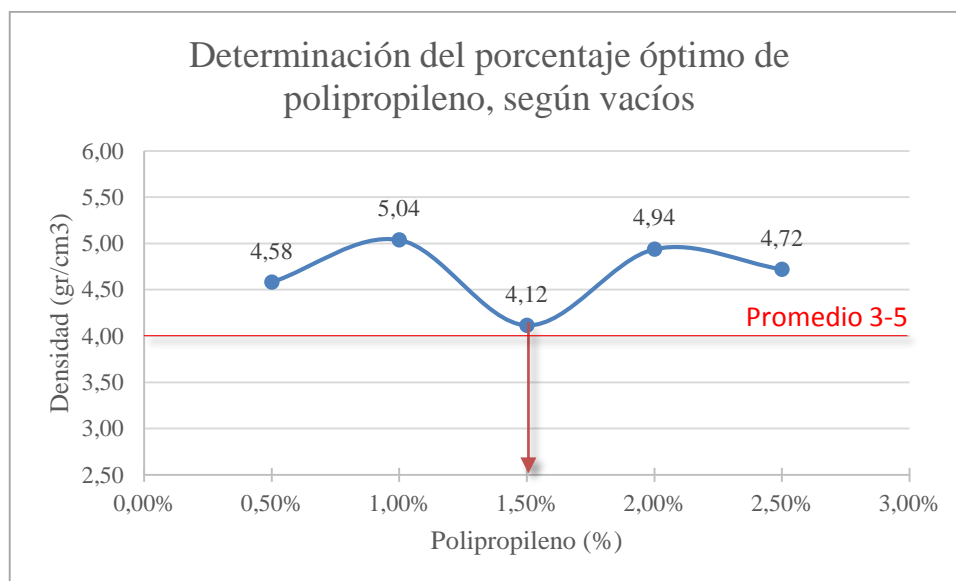
Gráfico 4.9. Obtención del porcentaje óptimo de polipropileno, según estabilidad



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.9, se observa que la estabilidad máxima se genera al 1,50% de polipropileno, con una estabilidad de 8098,78 lb, se considera el valor máximo porque a mayor estabilidad mayor será la resistencia y durabilidad de la mezcla asfáltica.

Gráfico 4.10. Determinación del porcentaje óptimo de polipropileno, según vacíos



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.10, se observa que los vacíos más próximos a 4%, que resulta siendo el promedio entre 3 y 5 % según norma para mezclas densas; se genera al 1,50% de polipropileno, con un 4,12 % de vacíos de la mezcla. Por lo tanto este porcentaje garantiza que el porcentaje de vacíos se encontrará siempre dentro del rango.

Como resultado se determina para todos los casos el contenido óptimo de fibra de polipropileno es igual al 1,50 %.

#### 4.5 Dosificaciones finales con porcentajes óptimos para cada mezcla modificada

Las dosificaciones se realizan a partir de la distribución granulométrica estándar, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.7: Dosificaciones finales con porcentajes óptimos de ambas mezclas modificadas

Peso total de briqueta (gr)	1200
Contenido de grava (%)	25
Contenido de gravilla (%)	30
Contenido de arena (%)	40
Contenido de filler (%)	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8: Dosificaciones finales con el porcentaje óptimo con betuflex

Porcentaje óptimo de cemento asfáltico (%)	5,49%
Porcentaje de Agregado (%)	94,51%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	65,88
Peso de Grava (gr) *	283,53
Peso de Gravilla (gr) *	340,24
Peso de Arena (gr) *	453,65
Peso de Filler (gr) *	56,71
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.9: Dosificación final del óptimo de C.A. 85-100 y óptimo de fibra de polipropileno.

Porcentaje óptimo de cemento asfáltico (%)	5,46%
Porcentaje óptimo de polipropileno (%)	1,50%
Porcentaje de agregado (%)	93,04%
Peso del cemento asfáltico (gr) *	65,52
Peso de grava (gr) *	279,12
Peso de gravilla (gr) *	334,94
Peso de arena (gr) *	446,59
Peso de filler (gr) *	55,82
Peso del polipropileno (gr) *	18,00
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6 Determinación de propiedades Marshall con valores óptimos modificados

Con las dosificaciones se realizaron 15 briquetas para cada tipo de mezcla modificada con las que se desea hacer un análisis comparativo de las propiedades volumétricas y mecánicas de ambas mezclas modificadas las cuales son con betuflex 60/85E y la mezcla modificada adicionada con fibras de polipropileno la cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4.10: Propiedades volumétricas finales con óptimos modificados con cemento asfáltico betuflex 60/85 E

N° de probeta	% de asfalto		Altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen Probeta	Densidad briqueta			% de vacíos			
	Base mezcla	Base agregados		Seco	Sat. sup. seca	Sumergida en agua		Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betún vacíos)	
														%
1	5,49	5,81	6,70	1171,80	1175,5	685	490,5	2,389	2,37	2,48	4,41	17,14	74,24	
2			6,79	1202,0	1204,4	699	505,4	2,378						
3			6,61	1189,0	1193,5	694	499,5	2,380						
4			6,77	1192,9	1197,4	696	501,4	2,379						
5			6,77	1192,2	1197,7	695	502,7	2,372						
6			6,82	1185,70	1190,0	689	501,0	2,367						
7			6,72	1194,1	1195,7	698	497,7	2,399						
8			6,73	1196,5	1199,6	693	506,6	2,362						
9			6,72	1203,9	1205,7	695	510,7	2,357						
10			6,73	1179,7	1184,6	685	499,6	2,361						
11			6,76	1185,5	1195,0	693	502,0	2,362						
12			6,68	1191,7	1195,5	694	501,5	2,376						
13			6,74	1164,6	1167,9	678	489,9	2,377						
14			6,72	1188,3	1192,1	690	502,1	2,367						
15			6,77	1192,5	1194,7	692	502,7	2,372						
Especificaciones			mínimo									3	13	75
			máximo									5	-	82

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.11: Propiedades mecánicas finales con óptimos modificados con cemento  
asfáltico betuflex 60/85 E

N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	5,49	5,81	2098	5631,27	0,92	5194,85	4437,88	11	11,93
2			1757	4713,03	0,90	4241,73		12	
3			1867	5009,24	0,94	4715,19		12	
4			1870	5017,31	0,91	4540,67		10	
5			1580	4236,40	0,91	3833,94		11	
6			1637	4389,89	0,89	3917,98		13	
7			1712	4591,85	0,92	4213,02		12	
8			1575	4222,94	0,92	3863,99		12	
9			1798	4823,43	0,92	4425,50		11	
10			1900	5098,10	0,92	4664,76		13	
11			1970	5286,59	0,91	4797,58		13	
12			1824	4893,45	0,93	4538,67		14	
13			1962	5265,05	0,91	4804,36		13	
14			1897	5090,02	0,92	4670,09		10	
15			1708	4581,08	0,91	4145,88		12	
Especificaciones			mínimo				1800		8
			máximo				-		16

Fuente: Elaboración propia



Tabla N°4.12: Propiedades volumétricas finales con óptimos de la mezcla modificada con fibra de polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos		
	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 betún)
	%	%		grs.	grs.	grs.	cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	%	%	%
1	5,46	5,78	6,82	1186,80	1196,0	702	494,0	2,402	2,38	2,48	4,26	17,05	75,02
2			6,68	1212,8	1217,5	703	514,5	2,357					
3			6,88	1222,4	1229,0	702	527,0	2,320					
4			6,82	1194,5	1204,4	700	504,4	2,368					
5			6,69	1199,8	1204,9	699	505,9	2,372					
6			6,73	1195,10	1199,8	698	501,8	2,382					
7			6,64	1204,8	1206,8	706	500,8	2,406					
8			6,82	1201,3	1206,7	703	503,7	2,385					
9			6,62	1239,8	1243,6	702	541,6	2,289					
10			6,74	1203,5	1206,1	701	505,1	2,383					
11			6,67	1188,5	1191,1	700	491,1	2,420					
12			6,74	1199,2	1202,5	698	504,5	2,377					
13			6,65	1198,5	1201,4	701	500,4	2,395					
14			6,72	1199,2	1203,0	700	503,0	2,384					
15			6,77	1198,0	1201,0	699	502,0	2,386					
Especificaciones			mínimo								3	13	75
			máximo								5	-	82

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.13: Propiedades mecánicas finales con óptimos de la mezcla modificada con fibra de polipropileno.

N° de probeta	% de asfalto		Estabilidad Marshall					Fluencia	
	Base mezcla	Base agregados	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	5,46	5,78	3100	8329,46	0,89	7434,04	8091,58	11	11,87
2			3247	8725,30	0,93	8092,72		12	
3			3400	9137,30	0,88	8047,22		12	
4			3419	9188,46	0,89	8200,70		10	
5			3300	8868,02	0,93	8202,92		10	
6			3300	8868,02	0,92	8114,24		13	
7			3332	8954,19	0,94	8378,43		12	
8			3417	9183,08	0,89	8195,90		12	
9			3478	9347,34	0,94	8780,89		12	
10			3160	8491,03	0,91	7748,06		12	
11			3448	9266,55	0,93	8617,89		13	
12			3368	9051,13	0,91	8259,16		14	
13			3190	8571,81	0,93	8004,36		13	
14			3239	8703,76	0,92	7985,70		10	
15			3007	8079,03	0,91	7311,52		12	
Especificaciones			mínimo				1800	8	
			máximo				-	16	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7 Análisis comparativo de óptimo de fibra de polipropileno con el óptimo de Betuflex 60/85E.

Luego de haber realizados las dosificaciones para cada tipo de mezclas modificadas y de observar las propiedades volumétricas y propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con betuflex 60/85E y la mezcla asfáltica con el adiconamiento de la fibra de polipropileno se toma la determinación de hacer un análisis comparativo del porcentaje

óptimo de la fibra de polipropileno y porcentaje óptimo del betuflex 60/85E y tomando en cuenta como el porcentaje optimó patrón con 0% de fibra de polipropileno, donde en la siguiente tabla se representa los porcentajes finales óptimos de las mezclas modificadas:

Tabla N° 4.14: Resultados finales de los porcentajes óptimos de las mezclas modificadas

Producto	Mezcla convencional	Mezcla modificada con:	
	(0% polipropileno)	Betuflex 60/85	Polipropileno
% Polipropileno	-	-	1,50
C.A. 60/85 E	-	5,49	-
C.A. 85/100	5,55	-	5,46

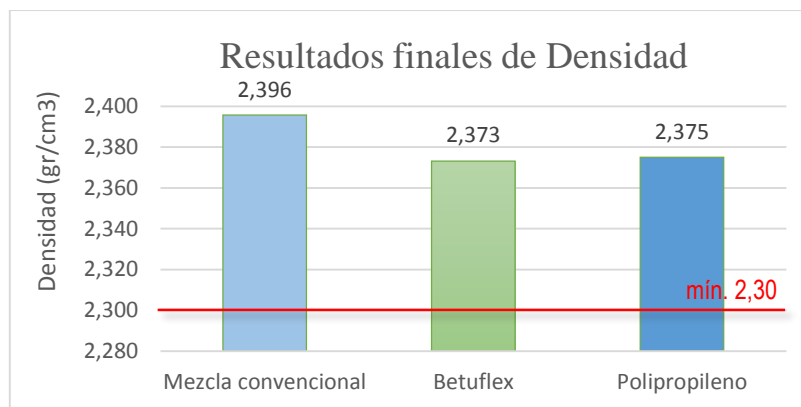
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Resultados finales de propiedades Marshall de las mezclas modificadas

Propiedades	Mezcla convencional	Mezcla modificada con:		NORMA	
	(0% polipropileno)	Betuflex	polipropileno	mínimo	máximo
Densidad	2,396	2,373	2,375	2,300	-
Estabilidad	3551,18	4437,88	8091,58	1800	-
Fluencia	11,86	11,93	11,87	8	16
V.A.M.	16,40	17,14	17,05	13	-
R.B.V.	79,83	74,24	75,02	75	82
% Vacíos	3,29	4,41	4,26	3	5

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.11: Resultados finales de la densidad de las mezclas modificadas con el porcentaje óptimo

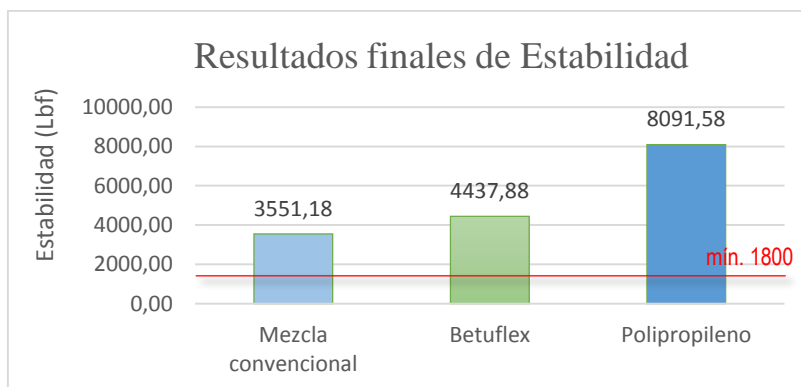


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.11 se observa que la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno tiene una densidad elevada de 2,396 gr/cm<sup>3</sup>, sin embargo, la mezcla modificada betuflex 60/85E se observa una disminución de densidad de 2,373 gr/cm<sup>3</sup>, se observa un aumento considerable de fibra de polipropileno con densidad de 2,375 gr/cm<sup>3</sup>.

La densidad máxima corresponde a la fibra de polipropileno y la densidad mínima corresponde al betuflex 60/85E. Es importante resaltar que todos los resultados de la densidad están en el rango mínimo de 2,30 gr/cm<sup>3</sup>.

Gráfico N°4.12: Resultado final de estabilidad de mezclas modificadas con el porcentaje óptimo

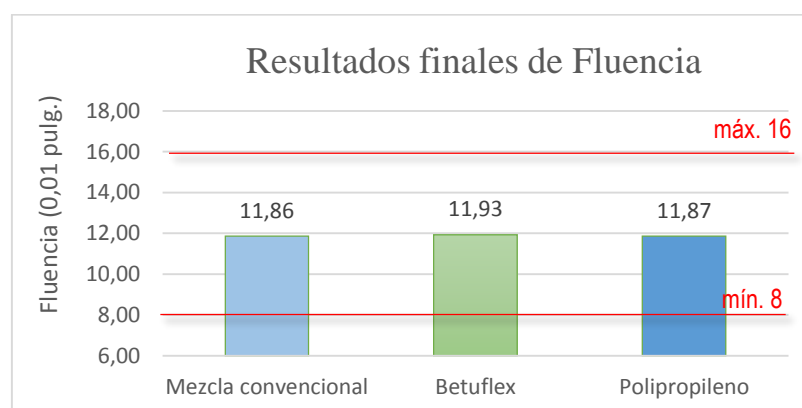


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.12 se observa que para la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno tiene una estabilidad baja de 3551,18Lbf, sin embargo, ante la presencia de la mezcla modificada betuflex 60/85E se observa un aumento de 4437,88Lbf, se observa un aumento considerable de fibra de polipropileno con estabilidad de 8091,58 Lbf.

La estabilidad máxima corresponde a la fibra de polipropileno y la densidad mínima corresponde al betuflex 60/85E. Es importante resaltar que todos los resultados de la estabilidad están en el rango mínimo de 1800 Lbf.

Gráfico N°4.13: Resultados final de la fluencia de mezclas modificadas con el porcentaje óptimo



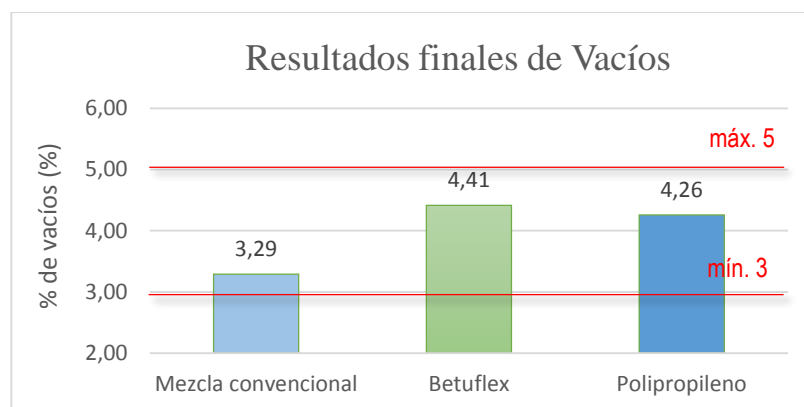
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.13 se observa que para la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno tiene una fluencia de 11,86 pulg., sin embargo, ante la presencia de la mezcla modificada betuflex 60/85E se observa un aumento de 11,93 pulg., se observa un descenso considerable de fibra de polipropileno con fluencia de 11.87 pulg.

La fluencia máxima corresponde a la mezcla modificada con betuflex 60/85E y la densidad mínima corresponde a la mezcla con fibra de polipropileno.

Es importante resaltar que todos los resultados de la fluencia están en el rango (8 mínimo-16 máximos).

Gráfico N°4.14: Resultados finales del porcentaje de vacíos de las mezclas modificadas con el porcentaje óptimo

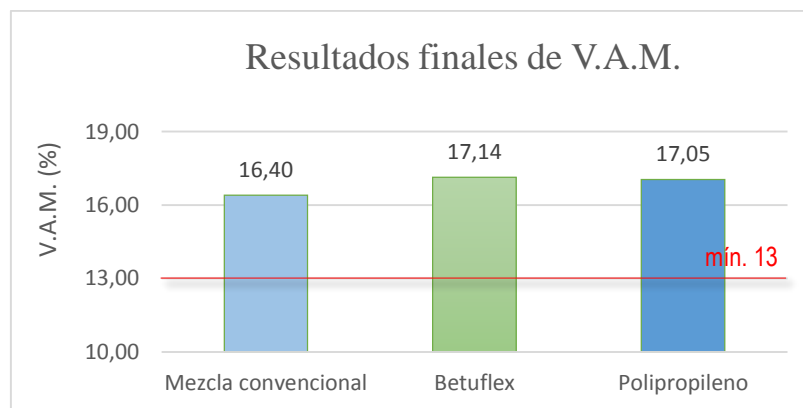


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.14 se observa que para la mezcla convencional con 0% de fibra de polipropileno tiene una densidad baja de 3,29%, sin embargo, ante la presencia de la mezcla modificada betuflex 60/85E se observa un aumento de 4,41% de porcentaje de vacíos, sin embargo, se observa una disminución considerable de fibra de polipropileno del 4,26% del porcentaje de vacíos.

El porcentaje de vacíos máximo corresponde al modificado betuflex 60/85E y la densidad mínima corresponde a la fibra de polipropileno. Es importante resaltar que todos los resultados del porcentaje de vacíos están en el rango (3% min - 5% máximo).

Gráfico N°4.15: Resultados finales del porcentaje de vacíos de agregado mineral las mezclas modificadas con el porcentaje óptimo

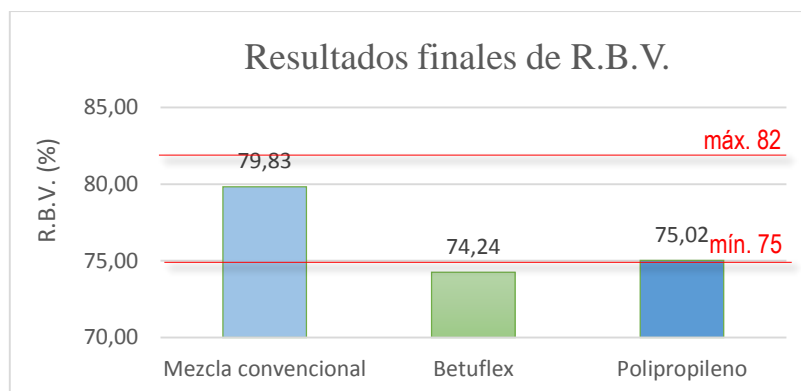


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.15 se observa que para la mezcla convencional patrón con 0% de fibra de polipropileno tiene un bajo porcentaje de vacíos de agregado mineral del 16,40%, sin embargo, ante la presencia de la mezcla modificada betuflex 60/85E se observa un aumento del 17,14% de porcentaje de vacíos de agregado mineral, también se observa una disminución considerable de fibra de polipropileno del 17,05% del porcentaje de vacíos de agregado mineral

El porcentaje de vacíos de agregado mineral el máximo corresponde al modificado betuflex 60/85E y los vacíos de agregado mineral mínima corresponden a la fibra de polipropileno. Es importante resaltar que todos los resultados del porcentaje de vacíos de agregado mineral están en el rango mínimo del 13%.

Gráfico N°4.16: Resultados finales del porcentaje de relación betún vacíos de las mezclas modificadas con el porcentaje óptimo



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.16 se observa que para la mezcla convencional patrón con 0% de fibra de polipropileno tiene un alto porcentaje de R.B.V. 79,83%, sin embargo, ante la presencia de la mezcla modificada betuflex 60/85E se observa un bajo porcentaje del 74,24% de porcentaje de R.B.V, también se observa un aumento considerable de fibra de polipropileno del 75,02% del porcentaje de R.B.V.

El porcentaje de R.B.V. el máximo corresponde a la mezcla asfáltica modificada de fibra de polipropileno y la mínima corresponden a la mezcla modificada con betuflex 60/85E.

## 4.8 Especificaciones técnicas

### 4.8.1 Producción en planta de mezclas modificada con fibra de polipropileno.

La producción de las mezclas asfálticas modificada en caliente se logra a partir de la combinación de los agregados con el cemento asfáltico y la fibra de polipropileno, en una planta de asfalto ya sea fija (situada en un lugar permanente).

#### 4.8.1.1 Ciclo de producción de mezclas asfálticas caliente en una planta mezcladora.

La planta mezcladora de tambor es ubicada en la zona central del local de producción, el cual se encuentra nivelado, ordenado y limpio. Posee un acceso de ingreso y salida para las unidades motoras, señalizado con elementos verticales, para evitar el congestionamiento y posibles accidentes durante el ciclo de producción.

#### Almacenamiento de agregados

La planta de asfalto posee tres zonas de almacenamiento de los agregados, los cuales se encuentran apilados según su tamaño y tipo de agregado, trabajo que es realizado por los volqueteros y un personal de vigilancia, como se aprecia en la figura 4.1.

Figura 4.1. Acopio de los agregados pétreos en la planta de asfalto.



Fuente: Céspedes Ojeda, Amélica Isabel. (2019)



Los materiales se encuentran apilados cerca de la tolva de agregados y fuera del área destinada al tránsito de las unidades de transporte, para evitar obstruir el paso de los mismos hacia la planta mezcladora. El retiro y almacenamiento de los agregados debe realizarse de manera ordenada. Se inspecciona que el material recepcionado sea de buena calidad, no se encuentre contaminado y cumpla con las especificaciones de granulometría.

#### Almacenamiento de la fibra de polipropileno

Para el almacenamiento de las fibras de polipropileno, se requiere de un ambiente cerrado, seco y techado, para protección de aguas de lluvia. Debe encontrarse cerca de las tolvas de agregados de la planta de producción.

Su presentación es en sacos de 20 unidades de 0,6 kg cada una. El tiempo de almacenamiento no deberá ser mayor a 12 meses ya que el producto pierde sus propiedades según sus fechas indicadas.

#### Tanque de combustible

El tanque de combustible es abastecido según la cantidad requerida para el funcionamiento que pone en marcha a la planta de asfalto.

#### Almacenamiento del cemento asfáltico (85/100)

El cemento asfáltico es un ligante que se emplea para la preparación de la mezcla asfáltica, éste se almacena en un tanque hermético que evita la pérdida acelerada de calor, tiene incorporado un termómetro el registro de la temperatura del cemento asfáltico en un rango mínimo de 24 horas. Este tanque debe ser abastecido previo a la producción con una cantidad mayor o igual a 28 gln/m<sup>3</sup> de cemento asfáltico más la reserva (980 gln).

#### Preparación del cemento asfáltico (85/100)

El cemento asfáltico a temperatura ambiente posee una textura muy viscosa, lo cual evita que sea trabajable y se adhiera correctamente a los agregados durante la preparación de la mezcla asfáltica, razón por la cual pasa por un proceso de calentado. El proceso de

calentado consiste en encender el quemador del tanque de bitumen y dejar transcurrir un tiempo de calentado entre 4 a 6 horas, para que el cemento asfáltico obtenga a una temperatura entre los 150 y 160°C, temperatura a la cual el ligante pierde su viscosidad, se vuelve fluido, y es capaz de combinarse con los agregados.

Esta tarea se realiza un día anterior a la puesta en marcha de la planta de asfalto, con el objetivo de que la producción pueda dar inicio a las primeras horas del día, según la cantidad de mezcla a despachar. Para la ejecución de esta actividad, se requiere de tres personas, 1 operario y 2 ayudantes.

#### Tolva de agregados

La planta de asfalto cuenta con una tolva de agregados con capacidad de 11 m<sup>3</sup>, la cual se divide en dos cavidades, una destinada para la arena preparada (ver figura N°4.1), que consiste en una mezcla en seco de arena gruesa y arena triturada o filler en las proporciones indicadas según el diseño de mezcla. La segunda cavidad está destinada para el abastecimiento de piedra chancada de 1/2”.

La tolva es abastecida con los agregados recepcionado en planta, con un cargador frontal, los agregados caen por gravedad hacia el fondo de la tolva, y son transportados por la faja transportadora N°1 (faja horizontal) hacia dos compuertas de descarga, las cuales son regulables para el control y dosificación de los agregados. Abierta estas compuertas, el material granular es transportado hacia la faja transportadora N°2 (Faja inclinada), la misma que se encarga de alimentar el tambor mezclador con estos agregados.

Figura 4.2 Alimentación de tolva con arena y piedra chancada 1/2”.



Fuente: Céspedes Ojeda, Amélica Isabel. (2019)

#### Tambor secador mezclador

Este dispositivo presenta en su interior dos compartimientos, trabajando en dos fases, donde en la fase 1, el tambor mezclador es alimentado con los agregados provenientes de la faja transportadora N°1, procedentes de la tolva de agregados, éstos agregados pasan a la zona del secador, donde se realiza el proceso de calentado con el uso de un quemador, con el fin de secar completamente los agregados y evitar presencia de humedad. Esta fase se da en la parte superior del tambor mezclador, la cual presenta varias paletas en forma de cepillo que permite un calentado uniforme de los agregados.

En la fase 2, se realiza el mezclado de los agregados con el cemento asfáltico y las fibras de polipropileno, la temperatura de los agregados pétreos debe ser igual a la del cemento asfáltico, para evitar variaciones en los resultados de la mezcla final. Esta fase se desarrolla en la parte inferior del tambor mezclador.

El cemento asfáltico es inyectado al tambor mezclador, mediante un sistema de bombeo que está compuesto por un sistema de líneas de salida (manguera flexible acerada) que nacen desde el tanque de bitumen, líneas de retorno (tuberías de acero), una válvula de regulación, una válvula de paso y una válvula de retorno. Todo este sistema permite la circulación del cemento asfáltico hacia el interior del tambor secador mezclador.

Las fibras de polipropileno son agregados a través de una faja transportadora N°2 que es alimentada por los operarios, según el número de sacos por capacidad de producción.

En el tambor mezclador (ver figura 4.2) se producen las operaciones de secado, calentamiento y distribución de los diferentes agregados, la forma cilíndrica del tambor permite un adecuado movimiento rotacional del mismo, generando una mezcla homogénea de los componentes que conforman la mezcla asfáltica. El tambor mezclador funciona a base de combustible diésel y es operado mediante un tablero electrónico.

Figura 4.3: Tambor mezclador



Fuente: Céspedes Ojeda, Amélica Isabel. (2019)

#### Transportadora elevadora

El producto obtenido de la mezcla de los agregados con el cemento asfáltico y las fibras de polipropileno, es decir la mezcla realizada en el tambor mezclador, es transportada por un sistema de paletas y faja transportadora hacia la zona de descarga (ver figura N°4.3), que está ubicada en la parte terminal superior del elevador, lugar donde se expulsa la mezcla asfáltica en caliente y es depositado en las unidades de transporte de la mezcla, que son los volquetes, los mismos que depositarán la mezcla en el lugar de desarrollo del proyecto.

Figura 4.4: Transportador y elevador de la mezcla asfáltica en caliente.



Fuente: Elaboración propia

#### Extractor de gases

La preparación de la mezcla asfáltica en caliente, genera ciertos gases y polvos que deben ser controlados para evitar el exceso de partículas sólidas en suspensión y concentración de gases en un área focalizada. El extractor de gases, ayuda a mitigar este impacto en el ambiente de trabajo

#### Inspección de unidades de transporte

Previo al despacho de los volquetes: se realiza una inspección de las unidades, que serán empleadas para el transporte de la mezcla asfáltica. Esta inspección consiste en:

- Verificar que las tolvas de los volquetes sean metálicos.
- Las tolvas deben encontrarse limpias y ser lisas.
- Las tolvas de los volquetes deben estar libres de orificios o aberturas, para evitar la pérdida de material durante el transporte.
- Las tolvas deben encontrarse lubricadas para evitar que la mezcla se pegue a las paredes del mismo.

Cálculo aproximado del tiempo de transporte de la mezcla asfáltica en caliente desde la planta de asfalto hasta la zona del proyecto.

El tiempo de traslado de la mezcla asfáltica a obra es estimado teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Distancia desde el lugar de producción de la mezcla asfáltica hasta el lugar donde se desarrollará el proyecto.
- La velocidad promedio de la unidad de transporte con carga.
- Tipo de vía de comunicación y su estado de conservación.
- Estado de conservación de la unidad de transporte

Estos parámetros son calculados para estimar los rangos de temperatura a la cual llegará la mezcla asfáltica a obra, sin tener una pérdida excesiva de calor en la mezcla, que puedan repercutir en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica.

Control de calidad de la mezcla asfáltica en caliente.

Según las normas y especificaciones técnicas generales para la construcción, la mezcla asfáltica en caliente al momento de salir de la planta debe tener una temperatura comprendida entre 125 °C y 165°C, y será transportada a obra en vehículos adaptados para garantizar su homogeneidad (evitar segregación) y una mínima pérdida de calor, que indica una disminución en la temperatura del asfalto.

#### **4.9 Análisis de costos**

El análisis de costos se realiza para tres tipos de mezclas estudiadas:

- Carpeta asfáltica convencional con asfalto 85/100.
- Carpeta asfáltica modificada con betuflex 60/85 E.
- Carpeta asfáltica modificada con polipropileno.

Previo a un análisis de costos, se debe calcular los rendimientos de los materiales, según dosificaciones finales, después determinar los precios unitarios y finalmente un cuadro de costos finales.

#### 4.9.1 Cálculos de costos para carpeta asfáltica convencional con asfalto 85/100

##### A. Cálculo de rendimientos

###### – Datos

Tipo de ligante asfáltico = Cemento asfáltico 85/100 (convencional)

Procedencia del agregado = Chancadora Garzón

Densidad de la mezcla = 2396 Kg/m<sup>3</sup>

###### – Volumen de producción por m<sup>3</sup>

Unidad de producción = m<sup>3</sup>

Largo = 1 m

Ancho = 1 m

Espesor = 1 m

Volumen compactado = 1m \* 1m \* 1 m = 1m<sup>3</sup>

Factor de esponjamiento = 35%

Volumen suelto = 1 m<sup>3</sup> + ((1 m<sup>3</sup> \* 35) /100) = 1,350 m<sup>3</sup>

###### – Determinación de cantidades según dosificación

Se determinan las cantidades para un 1 m<sup>3</sup> de mezcla compactada con un espesor de 1m, es decir un volumen de 1,350 m<sup>3</sup>, como se detalla en las siguientes tablas:

Tabla N° 4.16: Cantidad total de asfalto y agregado para mezcla convencional

Componente	Proporción en la mezcla (%)	Cantidad (kg)
Asfalto 85-100	5,55	179,52
Agregado	94,45	3055,08
Total	100	3234,60

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.17. Cantidad total de cada tipo de agregado para mezcla convencional

Agregado	Proporción de diseño granulométrico (%)	Proporción en la mezcla (%)	Cantidad (Kg)	Peso específico (%)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Grava	25,0	23,61	763,77	2.729	0,2799
Gravilla	30,0	28,34	916,52	2.670	0,3433
Arena	40,0	37,78	1222,03	2.742	0,4457
Filler	5,0	4,72	152,75	2.742	0,05571
Total	100	94,45	3055,08	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.18: Rendimientos para una carpeta asfáltica convencional

Componente	Rendimiento	Unidad
Asfalto 85-100	179,52	Kg
Grava	0,2799	m <sup>3</sup>
Gravilla	0,3433	m <sup>3</sup>
Arena	0,4457	m <sup>3</sup>
Filler	0,05571	m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 4.19: Precios unitarios para carpeta asfáltica convencional

## Análisis de precios unitarios

Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico convencional 85-100

**Actividad:** Colocado de carpeta  
**Unidad:** m<sup>3</sup>

**Cantidad:** 1  
**Moneda:** Bs.

A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
-	Cemento asfáltico 85/100	kg	179,52	6,82	1.224,47
-	Grava triturada clasificada 3/4"	m <sup>3</sup>	0,28	120,00	33,58
-	Gravilla triturada clasificada 3/8"	m <sup>3</sup>	0,34	130,00	44,62
-	Arena N°4	m <sup>3</sup>	0,45	145,00	64,62
-	Filler	m <sup>3</sup>	0,06	150,00	8,36
-	Gasolina	lt	0,85	3,74	3,18
<b>D</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b>			(A)	1.378,84
<b>B</b>	<b>MANO DE OBRA</b>				
-	Capataz	Hr	0,050	10,00	0,50
-	Operador de planta	Hr	0,085	9,00	0,77
-	Ayudante de planta	Hr	0,085	5,00	0,43
-	Operador de equipo liviano	Hr	0,075	8,00	0,60
-	Ayudante de maquinaria y equipo	Hr	0,075	4,50	0,34
-	Chofer	Hr	0,080	8,00	0,64
<b>E</b>	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			(B)	3,27
F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	2,33
O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	0,84
<b>G</b>	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			(E+F+O)=	6,43
<b>C</b>	<b>EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
-	Terminadora de asfalto	Hr	0,0020	340,00	0,68
-	Cargador frontal de ruedas	Hr	0,0045	280,00	1,26
-	Compactador rodillo neumático	Hr	0,0090	220,00	1,98
-	Compactador rodillo liso	Hr	0,0400	250,00	10,00
-	Planta de concreto asfáltico	Hr	0,0050	1.250,00	6,25
-	Volquete 10 m <sup>3</sup>	Hr	0,0700	150,00	10,50
	Herramientas menores		5,00%	(G)	0,32
<b>I</b>	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>			(C+H)	30,99
<b>J</b>	<b>SUB TOTAL</b>			(D+G+I)	1416,26
<b>L</b>	<b>GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		15,50%	(J)	219,52
<b>M</b>	<b>PARCIAL</b>			(J+L)	1.635,78
<b>N</b>	<b>UTILIDAD</b>		10,00%	(M)	163,58
<b>Q</b>	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			(M+N)	1.799,36
	<b>PRECIO FINAL</b>				<b>1.799,36</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.2 Cálculos de costos para carpeta asfáltica modificada con betuflex 60/85 E

##### A. Cálculo de rendimientos

– Datos

Tipo de ligante asfáltico = Betuflex 60/85 E

Procedencia del agregado = Chancadora Garzón

Densidad de la mezcla = 2373 Kg/m<sup>3</sup>

– Volumen de producción por m<sup>3</sup>

– Unidad de producción = m<sup>3</sup>

– Largo = 1 m

– Ancho = 1 m

– Espesor = 1 m

– Volumen compactado = 1m \* 1m \* 1 m = 1m<sup>3</sup>

– Factor de esponjamiento = 35%

– Volumen suelto = 1 m<sup>3</sup> + ((1 m<sup>3</sup> \* 35) /100) = 1,350 m<sup>3</sup>

– Determinación de cantidades según dosificación

Se determinan las cantidades para un 1 m<sup>3</sup> de mezcla compactada con un espesor de 1m, es decir un volumen de 1,350 m<sup>3</sup>, como se detalla en las siguientes tablas:

Tabla N°4.20. Cantidad total de asfalto y agregado para carpeta asfáltica con betuflex

Componente	Proporción en la Mezcla (%)	Cantidad (Kg)
Asfalto 85-100	5,49	175,87
Agregado	94,51	3027,68
Total	100	3234,60

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.21. Cantidad total de cada tipo de agregado para carpeta asfáltica con betuflex

Agregado	Proporción de diseño granulométrico (%)	Proporción en la mezcla (%)	Cantidad (Kg)	Peso específico (%)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Grava	25,0	23,63	756,92	2.729	0,2774
Gravilla	30,0	28,35	908,30	2.670	0,3402
Arena	40,0	37,80	1211,07	2.742	0,4417
Filler	5,0	4,73	151,38	2.742	0,05521
Total	100	94,51	3027,68	-	-

Fuente: Elaboración propia

- Rendimiento para la producción de 1 m<sup>3</sup> de carpeta asfáltica

Tabla N° 4.22. Rendimientos para una carpeta asfáltica con betuflex

Componente	Rendimiento	Unidad
Betuflex 60/85 E	175,87	Kg
Grava	0,2774	m <sup>3</sup>
Gravilla	0,3402	m <sup>3</sup>
Arena	0,4417	m <sup>3</sup>
Filler	0,05521	m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### B. Planilla de precios unitarios

Con los rendimientos de los componentes de una mezcla asfáltica, de la maquinaria y la mano de obra, se procede a determinar la planilla de precios unitarios para un 1 m<sup>3</sup> de mezcla compactada con un espesor de 5 cm, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 4.23. Precios unitarios para una carpeta asfáltica con betuflex

## Análisis de precios unitarios

Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico modificado con betuflex 60/85E

Actividad: Colocado de carpeta

Cantidad: 1

Unidad: m<sup>3</sup>

Moneda: Bs.

A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
-	Cemento asfáltico Betuflex 60/85E	kg	175,87	9,74	1.713,72
-	Grava triturada clasificada 3/4"	m <sup>3</sup>	0,0139	120,00	1,66
-	Gravilla triturada clasificada 3/8"	m <sup>3</sup>	0,0170	130,00	2,21
-	Arena N°4	m <sup>3</sup>	0,0221	145,00	3,20
-	Filler	m <sup>3</sup>	0,00276	150,00	0,41
-	Gasolina	lt	0,85	3,74	3,18
D	<b>TOTAL MATERIALES</b>			(A)	1.724,40
B	<b>MANO DE OBRA</b>				
-	Capataz	Hr	0,050	10,00	0,50
-	Operador de planta	Hr	0,085	9,00	0,77
-	Ayudante de planta	Hr	0,085	5,00	0,43
-	Operador de equipo liviano	Hr	0,075	8,00	0,60
-	Ayudante de maquinaria y equipo	Hr	0,075	4,50	0,34
-	Chofer	Hr	0,080	8,00	0,64
E	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			(B)	3,27
F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	2,33
O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	0,84
G	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			(E+F+O)=	6,43
C	<b>EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
-	Terminadora de asfalto	Hr	0,0020	340,00	0,68
-	Cargador frontal de ruedas	Hr	0,0045	280,00	1,26
-	Compactador rodillo neumático	Hr	0,0090	220,00	1,98
-	Compactador rodillo liso	Hr	0,0400	250,00	10,00
-	Planta de concreto asfáltico	Hr	0,0050	1.250,00	6,25
-	Volquete 10 m <sup>3</sup>	Hr	0,0700	150,00	10,50
	Herramientas menores		5,00%	(G)	0,32
I	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>			(C+H)	30,99
J	<b>SUB TOTAL</b>			(D+G+I)	1761,82
L	<b>GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		15,50%	(J)	273,08
M	<b>PARCIAL</b>			(J+L)	2.034,90
N	<b>UTILIDAD</b>		10,00%	(M)	203,49
Q	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			(M+N)	2.238,39
	<b>PRECIO FINAL</b>				<b>2.238,39</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.9.3. Cálculos de costos para carpeta asfáltica modificada con fibra polipropileno

#### A. Cálculo de rendimientos

– Datos

Tipo de ligante asfáltico = Cemento asfáltico 85/100 con polipropileno

Procedencia del agregado = Chancadora Garzón

Densidad de la mezcla = 2375 Kg/m<sup>3</sup>

– Volumen de producción por m<sup>3</sup>

– Unidad de producción = m<sup>3</sup>

– Largo = 1 m

– Ancho = 1 m

– Espesor = 1 m

– Volumen compactado = 1m \* 1m \* 1 m = 1m<sup>3</sup>

– Factor de esponjamiento = 35%

– Volumen suelto = 1 m<sup>3</sup> + ((1 m<sup>3</sup> \* 35) /100) = 1,350 m<sup>3</sup>

– Determinación de cantidades según dosificación

Se determinan las cantidades para un 1 m<sup>3</sup> de mezcla compactada con un espesor de 1m, es decir un volumen de 1.350 m<sup>3</sup>, como se detalla en las siguientes tablas:

Tabla N°4.24. Cantidad total de cemento asfáltico y agregado para carpeta asfáltica con fibra de polipropileno

Componente	Proporción en la mezcla (%)	Cantidad (Kg)
Asfalto 85-100	5,46	175,06
Polipropileno (PP)	1,50	48,09
Agregado	93,04	2983,10
Total	100	3206,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4.25. Cantidad total de cada tipo de agregado para carpeta asfáltica con fibra de polipropileno

Agregado	Proporción de diseño granulométrico (%)	Proporción en la mezcla (%)	Cantidad (Kg)	Peso específico (%)	Volumen (m³)
Grava	25,0	23,26	745,77	2.729	0,2733
Gravilla	30,0	27,91	894,93	2.670	0,3352
Arena	40,0	37,22	1193,24	2.742	0,4352
Filler	5,0	4,65	149,15	2.742	0,05440
Total	100	93,04	2983,10	-	-

Fuente: Elaboración propia

- Rendimiento para la producción de 1 m<sup>3</sup> de carpeta asfáltica

Tabla N° 4.26. Rendimientos para una carpeta asfáltica con polipropileno

Componente	Rendimiento	Unidad
Asfalto 85-100	8,75	Kg
Polipropileno (PP)	2,40	Kg
Grava	0,0137	m³
Gravilla	0,0168	m³
Arena	0,0218	m³
Filler	0,00272	m³

Fuente: Elaboración propia

Con los rendimientos de los componentes de una mezcla asfáltica, de la maquinaria y la mano de obra, se procede a determinar la planilla de precios unitarios para un 1 m<sup>3</sup> de mezcla compactada con un espesor de 5 cm, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 4.27. Precios unitarios para una carpeta asfáltica con polipropileno

## Análisis de precios unitarios

Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico modificado con fibra de polipropileno

Actividad: Colocado de carpeta

Cantidad: 1

Unidad: m<sup>3</sup>

Moneda: Bs.

A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
-	Cemento asfáltico 85/100	kg	175,06	6,82	1.194,06
-	Polipropileno (PP)	kg	48,09	25,00	1.202,34
-	Grava triturada clasificada 3/4"	m <sup>3</sup>	0,27	120,00	32,79
-	Gravilla triturada clasificada 3/8"	m <sup>3</sup>	0,34	130,00	43,57
-	Arena N°4	m <sup>3</sup>	0,44	145,00	63,10
-	Filler	m <sup>3</sup>	0,05	150,00	8,16
-	Gasolina	lt	0,85	3,74	3,18
D	<b>TOTAL MATERIALES</b>			(A)	2.547,21
B	<b>MANO DE OBRA</b>				
-	Capataz	Hr	0,050	10,00	0,50
-	Operador de planta	Hr	0,085	9,00	0,77
-	Ayudante de planta	Hr	0,085	5,00	0,43
-	Operador de equipo liviano	Hr	0,075	8,00	0,60
-	Ayudante de maquinaria y equipo	Hr	0,075	4,50	0,34
-	Chofer	Hr	0,080	8,00	0,64
E	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			(B)	3,27
F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	2,33
O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	0,84
G	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			(E+F+O)=	6,43
C	<b>EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
-	Terminadora de asfalto	Hr	0,0020	340,00	0,68
-	Cargador frontal de ruedas	Hr	0,0045	280,00	1,26
-	Compactador rodillo neumático	Hr	0,0090	220,00	1,98
-	Compactador rodillo liso	Hr	0,0400	250,00	10,00
-	Planta de concreto asfáltico	Hr	0,0050	1.250,00	6,25
-	Volquete 10 m <sup>3</sup>	Hr	0,0700	150,00	10,50
	Herramientas menores		5,00%	(G)	0,32
I	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>			(C+H)	30,99
J	<b>SUB TOTAL</b>			(D+G+I)	2584,63
L	<b>GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		15,50%	(J)	400,62
M	<b>PARCIAL</b>			(J+L)	2.985,24
N	<b>UTILIDAD</b>		10,00%	(M)	298,52
Q	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			(M+N)	3.283,77
	<b>PRECIO FINAL</b>				<b>3.283,77</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.4 Resultados finales de costos de las carpetas asfálticas

A partir de los resultados de las tablas de precios unitarios, se procede a realizar un cuadro resumen, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N°4.28. Resultados finales de costos de las carpetas asfálticas

Descripción	Precio unitario para 1 m <sup>3</sup> (Bs)	Porcentaje de aumento (%)
Carpeta asfáltica convencional con asfalto 85-100.	1.799,36	0,00
Carpeta asfáltica modificada con betuflex 60/85 E.	2.238,39	24,40
Carpeta asfáltica modificada con polipropileno.	3.283,77	82,50

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se observan la variación de precios unitarios, es así que para la carpeta asfáltica convencional con asfalto 85-100, el costo resulta siendo el más bajo con 1.799,36 Bs para 1 m<sup>3</sup> y 2.238,39 Bs para 1 m<sup>3</sup> de carpeta asfáltica compactada. Para la carpeta asfáltica modificada con betuflex 60/85 E, es el 24,40 % más cara que la carpeta convencional, con 3283,77 Bs para 1 m<sup>3</sup> y 2.499,47 Bs para 1 m<sup>3</sup> de carpeta asfáltica compactada. Finalmente, para la carpeta asfáltica modificada con polipropileno PP, es el 53,41 % más cara que la carpeta convencional.

Por lo tanto, la carpeta más barata es la convencional y la más cara es la modificada con fibras de polipropileno.



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Las conclusiones de la presente investigación son:

- Se realizaron las caracterizaciones según normas, de los componentes de las mezclas asfálticas modificadas como ser de: los agregados pétreos (grava, gravilla, arena y filler), del cemento asfáltico convencional 85-100 y del cemento modificado betuflex 60/85E.
- Se aplicó el método Marshall para el diseño granulométrico, dosificación y obtención de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas.
- Se determinaron los contenidos óptimos de ligantes asfálticos para cada diseño de mezclas modificadas, con betuflex y para cada variación de fibras de polipropileno.
- Después de un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas modificadas, se determinó un contenido óptimo de fibras de polipropileno, respecto a especificaciones de normas, obteniendo un valor óptimo del 1,5%.
- Observando el gráfico 4.8, se identifica que las mezclas modificadas reducen la densidad respecto a una mezcla convencional (0% fibras de polipropileno), esto se debe a que el producto modificante, genera mayor ligosidad, provocando mayor cantidad de vacíos, como se observa en el gráfico 4.9
- Del gráfico 4.10, se deduce que los vacíos del agregado mineral (V.A.M.), de las mezclas modificadas aumentan respecto a la mezcla convencional, esto se debe a que los agregados se adhieren más con la presencia de productos modificantes

como son el betuflex y las fibras de polipropileno, por lo tanto la relación betún vacíos (R.B.V.) es menor.

- Analizando las propiedades mecánicas, como ser estabilidad y fluencia, se observan que la estabilidad con fibras de polipropileno aumenta en un 100% respecto a la estabilidad con betuflex. Sin embargo la fluencia es casi constante y dentro de las especificaciones de la norma, por lo tanto es recomendable su uso.

## 5.2 Recomendaciones

Recomendaciones para mejorar y continuar las investigaciones son las siguientes:

- Cumplir la temperatura de compactado de 160°C para mezclas calientes hasta un mínimo de 140°C, para evitar el enfriamiento de la mezcla asfáltica que produce desprendimiento de los componentes de la mezcla.
- Compactar en lo posible con el martillo Marshall automático, porque tiene velocidad constante normada, altura de caída estandarizada, mantiene su perpendicularidad, y evita que la mezcla se enfríe rápido, por lo tanto, ahorra tiempo de ejecución.
- Evitar sobrecalentar varias veces el cemento asfáltico debido a que pierde sus propiedades, por lo que se debe calentar el material solo al momento de realizar los ensayos, evitando sobrepasar los 160°C.
- Se deberá realizar las mediciones cuidadosamente de los pesos de las muestras a diseñarse, de manera que pueda ser más exacto en el diseño para hallar el porcentaje óptimo y esta representará para su respectiva comparación.

# **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

- ABC. (2008). *Ensayos de suelos y materiales*. Manual técnico de carreteras de la ABC. Cuarta edición. Bolivia.
- Asphalt Institute. (1998). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Serie de manual N° 22, MS-22. Estados Unidos.
- Beriani-Goretti da Motta. (2008). *Pavimentación asfáltica*. Editorial Abeda, Brasil.
- Céspedes Ojeda, Amélica Isabel. (2019). *Proceso de producción y colocación de mezcla asfáltica en caliente empleando una planta de asfalto móvil*. Tesis de trabajo final. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Perú.
- Franco, Eduardo. (2013). *Diseño de mezclas asfálticas*. Colombia. Visitado en: <https://es.slideshare.net/EDUARDOFRANCO13/disenio-de-mezclas-asfalticas>.
- Garnica, Paúl. Delgado, Horacio. Gómez, José y Gonzales, Álvaro. (2004). *Comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con fibras*. México.
- Gonzales R. (2016). *Influencia de las características granulométricas y mineralógicas del filler*. Universidad de Santander. Facultad de Ciencias Físico Mecánicas. Chile.
- Instituto del Asfalto MS-22. (1982). *Principio de la construcción de pavimentos mezcla asfáltica en caliente*. Editada por FHWA (Administración Federal de Autopistas del Departamento de Transporte de los Estados Unidos). Estados Unidos.

- Menéndez Acuario, José Rafael. 2009. *Ingeniería de pavimentos materiales, diseño y conservación*. Editorial ICG, 1ª edición. Lima, Perú.
- Norma Española NLT-159/00. (2000). *Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall*. España.
- Palma, Carolina. Ortiz, José. Avalos, Felipe y Castañeda, Adali. (2015). *Modificación de asfalto con elastómeros para uso en pavimentos*. México.
- Sánchez Sabogal, Fernando. (2016). *Pavimentos asfálticos de carreteras*. Editorial colombiana de ingeniería. Colombia.
- Stalin, Wladimir y Veloz, Yadira. (2013). *Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS*. Ecuador.
- Valle Rodas, Raúl. (1976). *Carreteras, calles y autopistas*. Sexta edición Editorial Ateneo. España.