

## Capítulo I

### Diseño Teórico y Metodológico

#### 1.1. Introducción

Los pavimentos asfálticos son las principales obras de ingeniería más importante en nuestra región, sin embargo, estas sufren deterioros destructivos por agentes climatológicos o fuerzas externas no incluidas en su diseño. La necesidad de buscar nuevas alternativas que puedan satisfacer cada especificación técnicas, nace la comparación de las propiedades mecánicas, que nos permite 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 elastómero tribloque (SBS) que es la composición de tres monómeros, estireno y butadieno que dan características plásticas al asfalto convencional, brindando mayor resistencia a la adherencia entre los áridos. Otro modificante que se estudió ampliamente, ya en décadas pasadas es el polvo de caucho donde la modificación es bastante beneficiosa para la mejora mecánica de las mezclas asfálticas, en el estudio llego a usar granos de caucho (SBR) material proveniente de una trituradora para obtener material libre de aceros e impurezas como fibras o cuerdas tirantes.

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.

Dentro del aporte teórico se enfocara en la teoría del diseño de las mezclas asfálticas, de sus características y propiedades mecánicas, además de ello se podrá observar los cambios producidos de las mezclas asfálticas por diferentes polímeros, la aplicación práctica será una posible alternativa en el campo de los asfaltos para prever cuidados del trafico automotor y poder ampliar el conocimiento, la relevancia social orientada sobre el tema se observara 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 cuanta la variedad de climas que ocasionan cambios bruscos en temperatura.

## **1.2. Justificación**

En la actualidad el uso de asfaltos convencionales para calles y avenidas de nuestra región son de uso tradicional donde estas metodologías no responden eficientemente a los diferentes daños que son expuestos, con el fin de conocer una amplia visión académica y que aporte a la sociedad, se realiza un estudio sobre los materiales de la familia elastómero que son ampliamente estudiados en países como el Perú, estos materiales actualmente son de gran estudio para una mejora en nuestras obras viales. El estudio de los polímeros con distintas composiciones en monómeros puede responder e influir en sus características mecánicas en la cual como investigadores observaremos los cambios y valoraremos el rendimiento de cada material.

El proyecto es pertinente dentro del contexto de comparar las mezclas asfálticas, sometidas a esfuerzos a través del equipo Marshall donde se tendrá conocimiento sobre el comportamiento de los asfaltos modificados, se tiene conocimiento que los asfaltos modificados con polímeros vírgenes y polvo de caucho son de bastante uso en muchos Países vecinos donde el empleo brinda mayor estabilidad mencionan textualmente, con el fin de conocer dicha afirmación se llega a realizar un estudio con la perspectiva ya mencionada.

El trabajo de investigación a través del enfoque comparar, realizará ventajas y desventajas del asfalto convencional y modificado, su relevancia influirá en la aplicación de asfalto modificado 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 la norma AASTHO para asfaltos no modificados con el fin de dar un enfoque de comparar. La investigación se limitará al tiempo estipulado en el cronograma de avance donde finaliza a finales de mayo, mi persona realizará los respectivos trabajos de investigación a tiempo completo.

Para el estudio de asfaltos modificados la disposición de los recursos e insumos se facilitaron a través de la Institución gubernamentales, distribuidoras dentro del País. Su aplicación en el diseño se cumplió con la norma AASTHO y procedimientos de investigación.

### **1.3. Situación Problemática**

La comparación técnica de las propiedades en mezclas asfálticas, define la valoración, ventajas y desventajas, en función a sus componentes como el asfalto convencional y otros modificados, la comparación es una respuesta a la selección de mezclas asfálticas para su uso en carreteras.

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 una comparación técnica de las propiedades mecánicas entre mezclas asfálticas convencionales como referencia y mezclas modificadas se establecerán la identificación de ventajas y desventajas.

### **1.4. Problema**

¿Una comparación técnica de las propiedades en mezclas asfálticas convencional y otros modificados con SBS y SBR, establece comportamientos de valoración y mejoras en sus propiedades mecánicas?

### **1.5. Objetivos de la Investigación**

#### **1.5.1. Objetivo General**

Comparar las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas convencional y otras modificadas con SBS y SBR, a través de equipos estandarizados como ser el Marshall, con el fin de obtener valores representativos para su respectiva valoración.

#### **1.5.2. 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 convencional y modificadas con SBS y SBR.
- Diseñar las mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall haciendo variar cantidades de asfalto convencional, asfalto modificado SBS y grano SBR

- 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 las mezclas asfálticas a partir de los resultados de pruebas en laboratorio.

## **1.6. Formulación de la Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis**

Si se obtiene el suficiente número de muestras necesarias para el diseño de las mezclas asfálticas convencional y modificadas con SBS, SBR; entonces, se puede desarrollar en laboratorio los ensayos necesarios, así poder establecer una comparación de valoración en las propiedades mecánicas.

### **1.7. Alcance**

La investigación se centra en la comparación de las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas convencional y otras modificadas.

Las propiedades mecánicas a comparar se realizarán con el Método Marshall

Los ensayos para la caracterización de los agregados pétreos, cemento asfáltico y procesos de cohesión con el asfalto convencional se realizarán conforme a normas AASTHO, ASTM

### **1.8. Limitaciones**

El tipo de cemento asfáltico que se utilizará en la investigación será un asfalto convencional de penetración 85-100 proporcionados por la institución SEDECA.

El cemento asfáltico modificado con Stireno Butadieno Stireno (SBS) que se utilizará en la investigación será proporcionados por la institución gubernamental Servicio Departamental de Caminos SEDECA.

El grano Stireno Butadieno Rubber (SBR) que se utilizaran en la investigación será proporcionado por Distribuidora Decorcenter&GreenLand ubicado en Santa Cruz.

Los agregados pétreos que se utilizaran en el diseño de la mezcla asfáltica se proporcionaran por el banco de agregado Garzón.

Este proyecto solo se contemplará el estudio de la estabilidad, deformación y porcentaje de vacíos a partir del equipo Marshall.

## **1.9. Definición de Variables**

### **1.9.1. Variables Independientes**

% de Asfalto convencional

% de Asfalto modificado SBS

% de Asfalto modificado SBR

### **1.9.2. Variables Dependientes**

Propiedades mecánicas

Estabilidad

Fluencia

Densidad

% de Vacíos

### **1.9.3. Conceptualización**

**Comportamiento mecánico.** - Describe la capacidad que tienen los diferentes materiales para comprimirse, estirarse o romperse bajo la acción de solicitaciones externas.

**Mezcla asfáltica.** - La mezcla asfáltica es la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante, las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla.

**Diseño de mezclas asfálticas.** - El diseño de las mezclas asfálticas es el proceso de seleccionar los materiales adecuados para determinar las cantidades relativas de los mismos, con el objeto de producir una mezcla asfáltica donde sus propiedades mecánicas sean las óptimas.

**Cemento Asfáltico.** - Material obtenido por refinación de residuos de petróleo y que debe satisfacer los requerimientos establecidos para su uso en la construcción de pavimentos.

**Cemento asfáltico modificado estireno butadieno estireno SBS.** - Es un cemento asfáltico con polímero SBS, con arreglo al procedimiento especial, tienen características de rendimiento, como reducida sensibilidad térmica, punto de ablandamiento de alta, la resistencia a la tensión repetida térmica y mecánica (elasticidad) y resistencia al envejecimiento.

**Grano estireno butadieno rubber SBR.** – Es un elastómero sintético obtenido mediante la polimerización de una mezcla de monómero: estireno y butadieno

**Agregado pétreo.** - Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

**Ensayos.** - Procedimiento definitivo que produce un resultado de una prueba que consiste en la determinación de una o más características de un determinado producto.

**Marshall.** - Equipo eléctrico diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo, sirve para medir la deformación que se produce cuando se le aplica una carga también se puede medir la estabilidad y fluencia de la muestra.

**Propiedades.** - Las propiedades de las mezclas asfálticas son las características inherentes que permiten diferenciar una mezcla de otra.

**Estabilidad.** - Es la capacidad de resistir deformaciones bajo la acción de cargas de una briqueta cuando se somete al ensayo Marshall.

**Fluencia.** - Representa la deformación correspondiente a la carga máxima de rotura de la briqueta en el ensayo Marshall.

**Densidad.** - La densidad de la mezcla compactada se considera como el volumen macizo de la briqueta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles, se expresa generalmente en  $\text{kg/m}^3$ .

**Cantidad de vacíos.** - Se pueden definir como el volumen total de una pequeña bolsa de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de cemento asfáltico en una mezcla asfáltica compactada, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla asfáltica compactada.

### 1.9.4. Operación

Tabla N° 1. 1. Operación de variables independientes

| Variable Dependiente | Dimensiones                                | Indicador                               | Valor/Acción                              |
|----------------------|--|---|---|
| Cemento Asfáltico    | Cemento Asfáltico Convencional             | Cantidad de Asfalto a variar            | Realizando la dosificación en laboratorio |
|                      | Cemento Asfáltico modificado SBS           | Cantidad de Asfalto modificado a variar |   |
|                      | Cemento Asfáltico modificado con Grano SBR | Cantidad de Grano SBR a variar          |   |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 1. 2. Operación de variable dependiente

| Variable Dependiente  | Dimensiones          | Indicador         | Valor/Acción                             |
|---|----------------------|-------------------|--|
| Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas. | Densidad             | Kg/m <sup>3</sup> | Especificaciones de la Norma AASTHO-ASTM |
|   | Porcentaje de vacíos | %                 |  |
|   | Estabilidad          | KN                |  |
|   | Fluencia             | mm                |  |

Fuente: Elaboración propia

## 1.10. Diseño Metodológico

### 1.10.1. Población

Los comportamientos de las propiedades mecánicas se determinan mediante los ensayos de laboratorio, observando los cambios producidos cuando se varían los porcentajes de asfalto convencional y modificado

### 1.10.2. Tamaño y Muestra

#### Muestra estratificada por fijación proporcional.

Tabla N° 1. 3. Nivel de confianza

|                                 |       |      |      |      |             |      |
|---------------------------------|-------|------|------|------|-------------|------|
| <b>Nivel de confianza</b>       | 50    | 80   | 85   | 90   | <b>95</b>   | 99   |
| <b>Nivel de significancia Z</b> | 0.574 | 1.28 | 1.44 | 1.64 | <b>1.96</b> | 2.68 |

Fuente: Elaboración propia

#### Tamaño y muestra

Es una parte representativa que se toma de una población.

Ni= Población Inicial

N = Muestra

Pi = Probabilidad de que ocurra 50%

Qi = Probabilidad de que no ocurra 50%

E = Error 5%

NC = Nivel de confianza 95%

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i * P_i * q_i}{(N * D) + \left(\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^n N_i * P_i * q_i\right)}$$

Tabla N° 1. 4.Muestra estratificada por afijacion proporcional

|  | grupos                          | Ni    | Pi   | qi   | Pi*qi | Pi*qi*q | Wi    | ni    | ni  |
|--|---------------------------------|-------|------|------|-------|---------|-------|-------|-----|
| Caracterización Agregados Pétreos                            | Granulometría                   | 8,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 2,00    | 0,012 | 2,99  | 3   |
|  | Peso específico                 | 3,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 0,75    | 0,005 | 1,12  | 1   |
|  | Peso unitario                   | 3,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 0,75    | 0,005 | 1,12  | 1   |
|  | Desgaste de los ángeles         | 3,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 0,75    | 0,005 | 1,12  | 1   |
|  | Porcentaje de caras fracturadas | 3,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 0,75    | 0,005 | 1,12  | 1   |
|  | Chatas y alargadas              | 3,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 0,75    | 0,005 | 1,12  | 1   |
|  | Laminaridad                     | 3,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 0,75    | 0,005 | 1,12  | 1   |
|  | Durabilidad - Sulfatos          | 3,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 0,75    | 0,005 | 1,12  | 1   |
| Caracterización de Asfalto convencional modificado SBS y SBR | Penetración                     | 25,0  | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 6,25    | 0,039 | 9,33  | 9   |
|  | Punto de inflamación            | 8,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 2,00    | 0,012 | 2,99  | 3   |
|  | Peso específico                 | 25,0  | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 6,25    | 0,039 | 9,33  | 9   |
|  | Punto de ablandamiento          | 8,0   | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 2,00    | 0,012 | 2,99  | 3   |
|  | Ductilidad                      | 25,0  | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 6,25    | 0,039 | 9,33  | 9   |
|  | Recuperación elástica           | 25,0  | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 6,25    | 0,039 | 9,33  | 9   |
| Asfalto Convencional y Asfalto Modificado SBS                | Estabilidad                     | 250,0 | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 62,50   | 0,388 | 93,31 | 94  |
|  | Fluencia                        |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Densidad                        |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Porcentaje de vacíos            |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Porcentaje llenos de asfalto    |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Vacíos total                    |       |      |      |       |         |       |       |     |
| Asfalto Modificado con SBR                                   | Estabilidad                     | 250,0 | 0,50 | 0,50 | 0,25  | 62,50   | 0,388 | 93,31 | 94  |
|  | Fluencia                        |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Densidad                        |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Porcentaje de vacíos            |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Porcentaje llenos de asfalto    |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Vacíos total                    |       |      |      |       |         |       |       |     |
|  | Total                           | 645,0 |      |      |       | 161,3   |       | 240,7 | 240 |

Fuente: Elaboración propia

## **Selección de las técnicas de muestreo.**

La técnica de muestreo más apropiada para estos casos donde se tiene diferentes muestras es el muestreo estratificado por fijación proporcional.

### **1.11. Método y procedimiento lógico**

#### **1.11.1. Lista de actividades e insumos y equipos**

Obtención y selección de los diferentes materiales.

#### **Caracterización del material pétreo**

Granulometría

Equivalente de arena

Gravedad específica y porcentaje de absorción

Desgaste de los ángeles

Porcentaje de caras fracturadas

Caras chatas y alargadas

#### **Caracterización del Cemento Asfáltico**

Penetración a 25°C

Punto de ablandamiento

Punto de inflamación

Peso específico

Ductilidad

#### **Asfalto modificado**

Penetración

Recuperación Elástica

Punto de inflamación

Peso específico

Ductilidad

### **Equipos**

Marshall

### **Ensayos y propiedades**

Estabilidad

Fluencia

Densidad

Porcentaje de vacíos

### **Tabulación de datos**

Se trabajará con resultados de las propiedades mecánicas que brinda el ensayo Marshall

### **Ordenar resultado para luego comparar valores de sus propiedades**

Se brindará una identificación respectiva a cada muestra, con los porcentajes respectivos para luego sacar conclusiones sobre el comportamiento.

### **Ordenar capítulos, correcciones, etc.**

Una vez ya adjuntado y completado; Marco teórico, resultados de las propiedades, figuras, ábacos, bibliografía y anexos correspondientes.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Definir una vez culminado los resultados

### **Revisión literaria**

Personal particular

Tabla N° 1. 5.Actividad e insumo

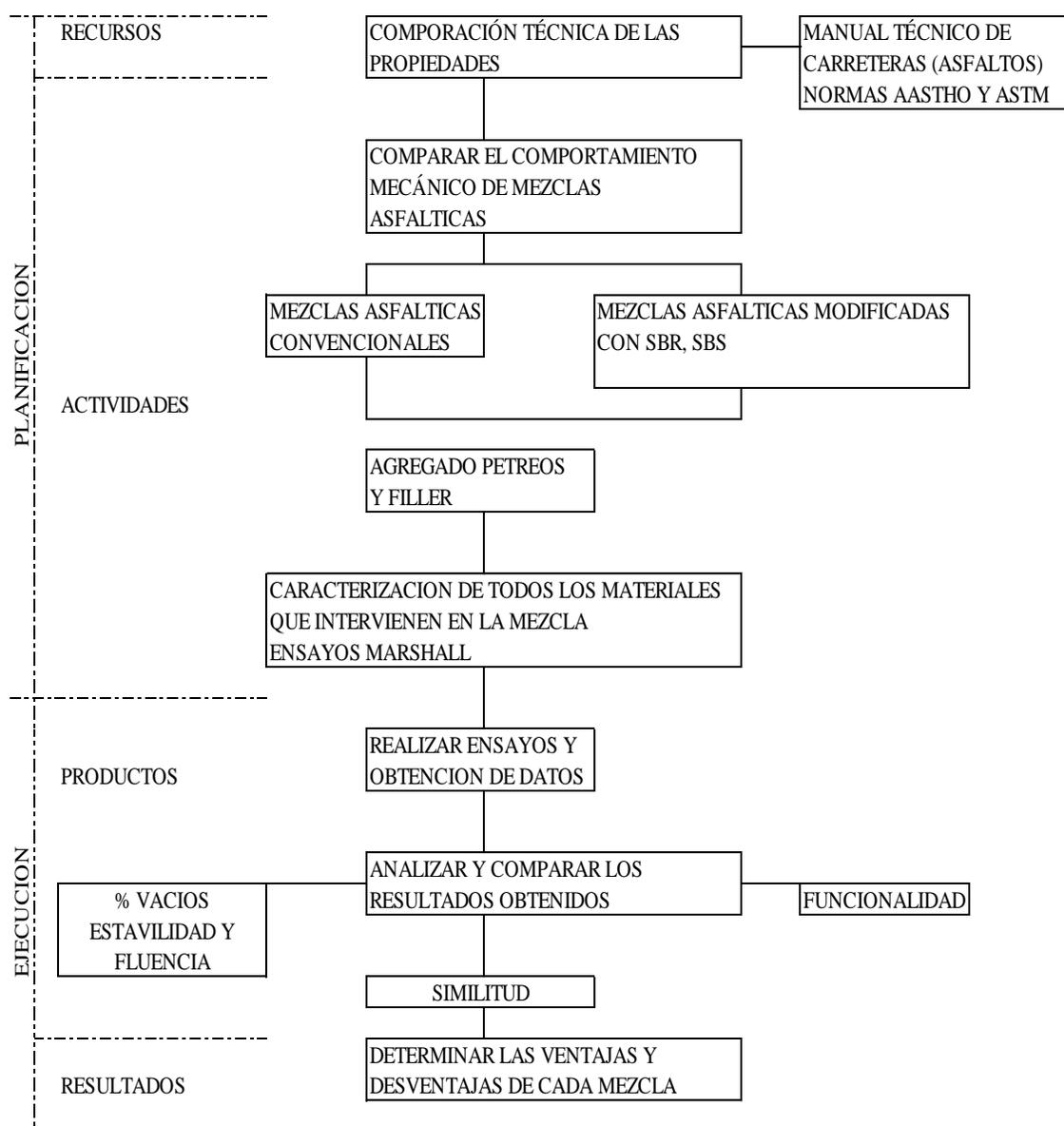
| N° | Actividad                             | Insumo   |
|----|---------------------------------------|--|
| 1  | Adquisición y selección de agregados. | Agregado grueso y fino de las canteras o banco de agregados.   |
| 2  | Adquisición del ligante asfáltico     | Cemento asfáltico convencional CA 85-100, adquirido de SEDECA u otras distribuidoras comercializadoras.  |
| 3  | Caucho SBR                            | El grano de caucho SBR utilizadas en césped sintético será adquirido DESCONCENTER comercializadora de productos de caucho.                             |
| 4  | Asfalto Modificado                    | Adquisición Cemento asfáltico con polímero elastómero SBS, adquirido en SEDECA.  |
| 5  | Granulometría del agregado            | Equipos de laboratorio (UAJMS, Alcaldía)   |
| 6  | Densidad y % de vacíos                | Equipos de laboratorio (UAJMS, Alcaldía)   |
| 7  | Gravedad específica y % de absorción  | Equipos de laboratorio (UAJMS, Alcaldía)   |
| 8  | Desgaste de los ángeles               | Equipo de laboratorio (UAJMS, Alcaldía)  |
| 9  | Penetración a 25 °C                   | Cemento asfáltico CA 85-100<br>Cemento asfáltico grano de caucho SBR<br>Cemento asfáltico con polímero SBS<br>Equipos de laboratorio (UAJMS, Alcaldía) |
| 11 | Punto de inflamación                  | Cemento asfáltico CA 85-100<br>Cemento asfáltico grano de caucho SBR<br>Cemento asfáltico con polímero SBS<br>Equipos de laboratorio (UAJMS, Alcaldía) |
| 12 | Peso específico                       | Cemento asfáltico CA 85-100<br>Cemento asfáltico grano de caucho SBR<br>Cemento asfáltico con polímero SBS<br>Equipos de laboratorio (UAJMS, Alcaldía) |
| 13 | Ductilidad                            | Cemento asfáltico CA 85-100<br>Cemento asfáltico con polímero SBS<br>Equipos de laboratorio (UAJMS, Alcaldía)  |
| 14 | Marshall                              | Cemento asfáltico CA 85-100<br>Cemento asfáltico grano de caucho SBR<br>Cemento asfáltico con polímero SBS<br>Equipos de laboratorio (UAJMS, Alcaldía) |

Fuente: Elaboración propia

## 1.12. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva

### Perspectiva: Comparar

Figura N° 1. 1.Esquema de actividades en función al procedimiento de la perspectiva



Fuente: Elaboración propia

### 1.13. Análisis de Resultado

#### 1.13.1. Selección de programa a utilizar

El programa a utilizar en el análisis de resultado será de forma manual y con la ayuda del programa del Microsoft office Excel.

#### 1.13.2. Estadística Descriptiva

##### Variables dependientes:

Y1 = Estabilidad

Y2 = Fluencia

Y3 = Densidad

Analizar los datos por variable.

Tabulaciones de datos.

Calcular los promedios muestrales para su respectiva comparación.

**Media.** - es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable.

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

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

**Moda.** - Es el valor donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.

Calcular las medidas de dispersión.

Desviación estándar. - Es la raíz cuadrada de la varianza, es la más usada de las medidas de dispersión.

$$S = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para muestras}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para población}$$

### 1.13.3. Estadística inferencial, seleccionada para comprobar la Hipótesis formulada

Estadística inferencial parametrizada, seleccionada para comprobar la Hipótesis formulada.

Para el tratamiento estadístico inferencial parametrizada se trabajará con un nivel de confianza de 95% comprobando que la mediana este dentro de los límites establecidos por la distribución normal. En el caso no cumpla tal afirmación se realizará un estudio a través de programas como el Minitab.

Se deberá hacer una relación entre las variables.

Tabulación ordenada de los datos.

Graficar y relacionar con las variables independientes.

Describir y explicar las relaciones funcionales entre las variables.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2. Marco teórico

##### 2.1. Mezcla Asfáltica

La mezcla asfáltica se puede definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento.

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

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

##### 2.1.1. 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

### **2.1.2. 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.

### **2.1.3. Mezcla en planta**

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

### **2.1.4. Mezcla en frío**

Son preparadas en sitio o en planta y se llaman frío 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 frío no se preparan “en frío” si no en “tibio” ya que el asfalto y los agregados son calentados a temperaturas intermedias (60-80°C)

### **2.1.5. 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.

Los pavimentos resultantes se llaman de “tipo superior” para diferenciarlos de los que están integrados por mezclas en sitio o por tratamientos bituminosos como capa de rodadura.

Están constituidos por agregado pétreo grueso, agregado fino, filler (relleno mineral) y cemento asfáltico.

Su elaboración necesariamente debe realizarse en una planta o usina 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.

#### **2.1.6. Mezclas abiertas**

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

#### **2.1.7. Mezclas cerradas**

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

### **2.2. Mezclas asfálticas modificadas**

La modificación de 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 varias 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

de aplicación de cargas, sean lo suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas, sean resistentes a las deformaciones.

### **2.2.1. 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). Realizando un experimento en laboratorio pudimos experimentar la retracción y comprobamos el comportamiento visco-elástico.

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.

Entre los polímeros elastómeros se encuentra el caucho sintético, por ejemplo, el polibutadieno como el grano caucho estireno butadieno. La particularidad de los elastómeros se debe a sus características de deformabilidad recuperable, lo que significa que pueden ser extendidos muchas veces su propia longitud, para luego regresar a su forma original sin una deformación permanente.

### **2.2.1.1. Estireno butadieno**

Después de seleccionar una definición estos autores reflejan el termino con esta visión con estas palabras: El caucho de estireno-butadieno (SBR) es un copolimero (polímero formado por la polimerización de una mezcla de dos o más comonomeros) del estireno y el 1,3-butadieno. Este es el caucho sintético más utilizado a nivel mundial debido a su bajo costo, con la mayor producción en neumáticos demandante de este caucho. **(Bates R., Worch R.,1987, No39)**

### **2.2.1.2. Estireno butadieno estireno**

El copolimero estireno-butadieno-estireno (SBS) cuya macromolécula está constituida por una sección corta de poliestireno, seguida por otra sección larga de polibutadieno y finalmente por otra sección corta de poliestireno. El poliestireno es un polímero duro y resistente y le da al SBS su durabilidad. El polibutadieno es un material parecido al caucho y le confiere al SBS sus características similares al caucho.

Un estudio de la Modificación de asfalto con elastómeros pasa su uso en pavimento concluye: Se ha comprobado que los elastómeros son los polímeros que presentan mayor compatibilidad con el asfalto debido a sus propiedades elásticas, siendo el SBS el polímero que proporciona mejores propiedades a la mezcla asfáltica. **(Victoria, Ortiz, Avalos &Castañeda, 2015, No 1)**

## **2.3. 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 con:

Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.

Buena estabilidad para satisfacer las demandas de transito sin producir deformaciones o desplazamientos.

Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de colocación.

Un contenido de vacíos lo suficiente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

El diseño de mezcla adecuado, es generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente.

Se han desarrollado algunos métodos de proporcionamiento de asfalto y agregado para na mezcla asfáltica en caliente. Siendo el más conocido el método Marshall.

NOTA: En la elaboración de mezcla asfáltica modificada con SBS se empleara el mismo método que la convencional ya que este asfalto modificado es modificado por la empresa Stratura Asfalto industrias Brasil.

#### **2.4. Diseño de mezclas asfálticas modificadas con SBR**

El uso de polvo de caucho en mezclas asfálticas ha sido acogido en Estados Unidos al menos desde inicios de los setenta por Departamento de Transporte de Arizona. Desde entonces este tipo de material ha sido adoptado alrededor del mundo. Los beneficios del asfalto modificado con polvo de caucho se evidencian en la mejora de las propiedades de durabilidad ya que proviene el agrietamiento del cemento asfáltico, mejora la adherencia en superficies mojados para disminuir su incidencia en accidentes de tránsito y ayuda a reducir el ruido que se trasmite a través del pavimento. Además, se puede citar el beneficio ambiental que representa el tener una aplicación para el caucho triturado de los neumáticos que han sido desechados al final de su vida útil. La incorporación del caucho se realizará por el método húmedo ya que en muchos estudios brindo mejores resultados. Es este proceso húmedo, el polvo de caucho se adiciona al ligante, es decir, al asfalto caliente cuando su viscosidad es relativamente baja.

Las propiedades del asfalto modificado con polvo de caucho son muy sensibles al proceso de mezcla, que depende de factores externos como temperatura de la mezcla, tiempo y velocidad de agitación, y factores internos como cantidad y tamaño de partícula del polvo de caucho, tipo de asfalto, tipo y pureza del polvo de caucho. Un aspecto de relevante importancia en la mezcla húmeda es el mecanismo de agitación, que debe ser de una

rotación constante con el fin de lograr la digestión total del polvo de caucho en el bitumen, evitando la turbulencia y separación de las fases del asfalto modificado.

#### **2.4.1. Material y métodos**

Para llevar a cabo este trabajo se emplearon polvo o granos de Caucho SBR provenientes en la aplicación de canchas de césped sintético ya que este material brinda las impurezas que solicita dicha investigación. Los agregados y la granulometría se mantendrá para las asfaltos.

#### **2.4.2. Materiales**

El polvo o grano de caucho usado en el estudio fue proporcionado por una empresa distribuidora Desconcenter de la ciudad de Santa Cruz. El grano de caucho cumple con la granulometría correspondiente y las impurezas que exige para su aplicación con el asfalto.

Requisitos para la aplicación del grano SBR en asfalto

El SBR debe contener menos del 0.75% de humedad

La gravedad específica del caucho debe ser de  $1,15 \pm 0.5$  gr/cm<sup>3</sup>

El caucho SBR no debe contener partículas visibles de metales no ferrosos y no mas de 0.01% en peso de partículas de metal ferroso.

Se recomienda que todas las partículas de caucho tengan un tamaño capaz de pasar por el tamiz de 2,36 mm

Además, es necesario evaluar la degradación del polvo de caucho a la temperatura de ensayo 175°C

#### **2.4.3. Mezcla de asfalto-caucho por proceso húmedo**

En el proceso humedo, el asfalto es pre-mezclado con el caucho a una temperatura elevada (160-170°C). Para la mezcla de grano SBR y el asfalto se requiere un mecanismo de agitación o mezclado rotacional con una velocidad de 2000 rpm y el tiempo de mezcla alrededor de 30 min a 40 min. en nuestro ensayo se hizo el uso de una batidora cacera para el mezclado.

Las cantidades de SBR a mezclar con asfalto se utilizaran entre 10%, 15%, 20% para su respectiva evolución, se realizaran una observación y estudio del cambio físico del asfalto.

#### **2.4.4. Grano SBR aplicado a canchas de césped sintético**

El caucho posee múltiples utilidades en diferentes tipos de industrias. Actualmente en muchos países hay empresas que elaboran productos relacionados al caucho.

Actualmente, el caucho SBR han desarrollado su uso, incrementándose en distintas aplicaciones a su baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y otras propiedades importantes.

Los cauchos sintéticos tienen una amplia aplicación, uno de sus derivados está el grano SBR material utilizado en canchas de césped sintético, trabaja como protección, amortiguamiento a impactos contra los posibles daños físicos del hombre. Este material el diseñado y fabricado para la práctica deportiva, brindado diferentes tipos de granulometría para la aplicación en mezclas asfálticas. El grano SBR es certificado por la inexistencia de sustancias toxicas y volátiles, e inexistencia de riesgo al ser humano.

*Figura N° 2. 1.Grano SBR*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.4.5. Propiedades del caucho SBR**

Mecánicas: Excelente resistencia a la abrasión y al impacto y moderada resistencia al desgarró y la flexión.

Físicas: excelente resistencia eléctrica, baja resistencia a la intemperie muy baja permeabilidad.

Química: Buena resistencia al agua, pero pobre al vapor

## 2.5. Comportamiento de mezclas asfálticas

Una muestra de mezcla 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, la influencia que estas pueden tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

Densidad de la mezcla

Vacíos de aire o simplemente vacíos

Vacíos en el agregado mineral

Contenido de asfalto

**Densidad.** - 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.

**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.

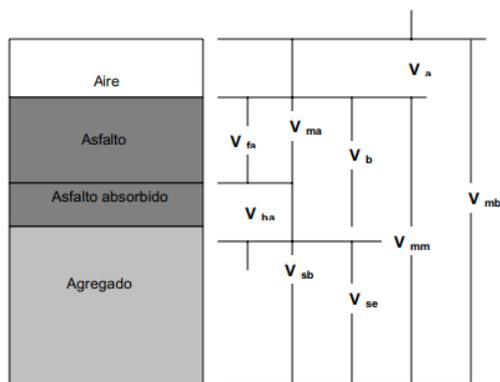
La densidad y el contenido de vacíos está directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor posible de vacíos; preferiblemente menos del 8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

**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. Existe valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

*Figura N° 2. Representación de los volúmenes de compactación*



*Fuente: Secretaria de comunicaciones y transporte instituto de México*

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

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

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

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

$V_a$ = Volumen de vacíos de aire

$V_b$ = Volumen de asfalto

$V_{ba}$ = Volumen de asfalto absorbido

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

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

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la gradación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores VAM 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 contra prudente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VAM para economizar en el contenido de asfalto.

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

El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece cuando los criterios 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 de asfalto. Entre más finos contenga la gradación 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 asfaltos 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. Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, puede absorber literalmente gran parte del 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 de relleno mineral, causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola cariar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado relleno mineral cualquier ajuste arbitrario para corregir la situación, probablemente la empeora. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo en 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 utilizado 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 pueda 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 calidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados.

El contenido efectivo de asfalto se observa 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 agregado, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

## **2.6. 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 estos

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 rivera de los ríos (cantera de río). En este último caso son agregados pétreos aluviales.

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. La roca se tritura para volver angular la forma de la partícula y para mejorar la distribución (gradación) de los tamaños de las partículas.

### **2.7. 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.

los materiales se asumen como cuerpos ideales y elásticos.

Se usan los materiales en condiciones donde el modelo elástico no tiene más validez.

Se puede obviar fenómenos secundarios en los que la teoría elástica no tiene importancia. Acero y hormigón no son elásticos, existe una relajación los aceros y variación en el hormigón.

Los materiales no son puramente elásticos ni viscosos; los materiales plásticos, el hormigón bituminoso, entre otros.

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 valor su comportamiento es servicio.

Los asfaltos presentan en comportamiento reológico muy complejo que depende de la temperatura, de carga y tiene de aplicación. A bajas temperaturas y durante intervalos pequeños de tiempo el asfalto tiene un carácter elástico, mientras que a temperatura moderadamente elevada p tiempos de aplicación muy 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.

## **2.8. 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; estireno butadieno rubber SBR, estireno butadieno estireno SBS 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 elastómero 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.

### **Características de los materiales CMT.4.05.002/01**

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 Caucho de Estireno, Butadieno. 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.

#### **Cacho granular**

Es un modificador de asfalto que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con la molienda de neumáticos. Su uso es múltiple como carpetas delgadas y tratamientos superficiales.

### **Asfalto modificado con SBS**

El 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 encuentra en la Institución Sedeca que nos brindó su apoyo para esta investigación.

Asfalto modificado con identificación Betuflex 60/85 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. 3. Asfalto modificado SBS*



*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 de la interacción 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 fátiga
- Aumentar la resistencia al envejecimiento
- Reducir la deformación permanente

Cabe mencionar que un solo modificador no puede lograr todas estas mejoras en el desempeño de la mezcla asfáltica modificada; de hecho, la mejora sustancial de una propiedad importante (ejemplo, deformación permanente) conllevará a la disminución de otra (ejemplo, fatiga).

## **2.9. 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 mástico 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 de 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.

## **2.10. 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 de asfalto para una combinación específica de agregados.

El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente de pavimentación, que se usan 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.

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas para pavimentación. 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 cemento asfalto en caliente. Estas briquetas dispuestas en serie y cada 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, 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 asfalto convencional y modificados manteniendo la faja de trabajo, estudio y caracterización de agregados.

### **2.11. Marco Referencial**

El presente trabajo de investigación se respaldó en:

TITULO: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS SBR Y SBS.” Autor: Stalin Wladimir L. & Yadira A. Veloz V. Ecuador 2013.

TITULO: “COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON SBR” 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.

## **2.12. Marco Conceptual**

### **Agregado grueso**

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenido en el tamiz 4.75mm (N°.4.). Para la investigación debe ser procedente de 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 trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.

### **Cemento asfáltico**

El cemento 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 termino 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.

### **Monómeros**

Un monómero es una molécula que forma la unidad básica para los polímeros. Puede ser considerados los bloques de construcción de los cuales se hacen las proteínas. Los monómeros pueden unirse a otros monómeros para formar una molécula de cadena repetitiva a través de un proceso denominado polimerización. Los monómeros pueden ser de origen natural o sintético.

### **Estireno**

Compuesto químico líquido, incoloro y aromático que se utiliza en la preparación de polímeros que se emplea como caucho sintético.

### **Butadieno**

Es un gas incoloro de olor levemente parecido a la gasolina. El nombre Butadieno también puede hacer referencia a su isómero, 1,2-butadieno. Aunque su importancia es casi nula al lado del 1,3-butadieno.

### **Estireno butadieno estireno (SBS)**

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

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

### **Estireno butadieno rubber (SBR)**

El SBR (caucho de estireno butadieno) es un copolimero elaterio de butadieno y estireno, y los dos monómeros se distribuyen aleatoriamente en la cadena principal, en la que el porcentaje másico de estireno es del 23,5% - 25%

### **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.

### 2.13. Marco normativo

Caracterización de los materiales asfálticos, las propiedades fundamentales que tiene que poseer los asfaltos para su empleo en carreteras son:

**Carácter termoplástico.** - por acción de la temperatura su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de envolver los áridos. Al enfriarse debe adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.

Buen comportamiento mecánico y reológico para resistir las tensiones impuestas por el tráfico y poder mantener a las temperaturas de servicio, la estructura de la mezcla asfáltica.

Resistir al envejecimiento frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo.

*Tabla N° 2. 1. Normas aplicadas para los agregados, cemento asfáltico y de ensayos*

| <b>Agregados grueso y fino</b>              |                   |                     |
|---|-------------------|---------------------|
| <b>Ensayos</b>                              | <b>Norma ASTM</b> | <b>Norma AASTHO</b> |
| Granulometría                               | C-136             | T-27                |
| Desgaste mediante la máquina de los ángeles | C-131             | T-96                |

|   |                   |                     |
|---|-------------------|---------------------|
| Durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración | C-88              | T-104               |
| 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                |
| Porcentaje de caras fracturadas   | D-5821            | -                   |
| Índice de aplanamiento y alargamiento                                       | NTL-354           |                     |
| <b>Cemento asfáltico convencional, SBS y SBR</b>                            |                   |                     |
| <b>Ensayos</b>  | <b>Norma ASTM</b> | <b>Norma AASTHO</b> |
| 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                |
| Ensayo de Recuperación Elástica   | D-6084            | T-301-99            |

*Fuente: Elaboración propia*

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

La modificación de asfaltos por los monómeros a un asfalto convencional se realiza con la intención de mejorar sus propiedades físico-químico, esperando que su uso en pavimentos conlleve a mejorar su desempeño y alargar el tiempo de vida de los mismos. De los diferentes materiales modificadores, 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 SBR y SBS donde se realizará una serie de muestras con distintos materiales, seguidamente observar el comportamiento a las propiedades mecánicas.

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**

#### **RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

### 3.1. Criterios a utilizarse

#### 3.1.1. Criterios de selección de banco de materiales

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



*Fuente: Google Earth*

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 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, la chancadora Garzón se encuentra a la orilla del río.

### 3.1.2. Criterios de Selección de Asfalto

*Figura N°3. 2. Ubicación, planta de asfalto Sedeca*



*Fuente: Google Earth*

El cemento asfáltico convencional 85-100 y el cemento asfáltico modificado con SBS se utilizarán para realizar los ensayos debido a que son de industria del Brasil y proporciona una buena cantidad, son empleados por el Servicios Departamental de Caminos (SEDECA).

El Grano SBR, es proporcionado por Empresa distribuidora GreenLand&Desconcenter líder en venta de césped sintético, con instalaciones en el Departamento de Santa Cruz, con numero de contacto y dirección: 332-5434, cel: 77021051, dirección: Santa Cruz Bolívar/Ingavi N°483, correo:

[www.desconcenter.bo.com](http://www.desconcenter.bo.com), desconcenter.bo@gmail.com

## 3.2. Levantamiento de la Información

### 3.2.1. Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico a utilizarse es el convencional de penetración 85-100 adjunto con la ficha técnica.

Tabla N°3. 1. Especificación técnica del cemento asfáltico convencional

| N° | Características  | Detalle |        | Exigencia    |
|----|--|---------|--------|--------------|
|    |  | AASTHO  | ASTM   |              |
| 1  | Penetración a 25°C   | T-49-97 | D-5    | 85-100       |
| 2  | Vaso abierto cleveland punto de inflamación °C                 | T-48    | D92    | >a 232°C     |
| 3  | Viscosidad saybol furol a 135°C, seg.                          | T-72    | D-102  | >85seg       |
| 4  | Solubilidad en tricloro etileno %                              | T-44    | D-2042 | >a 99.00%    |
| 5  | Ductibilidad 25°C  | T-51    | D-113  | >a 100cm     |
| 6  | Ensayo de la mancha heptaxilol, (20% máximo de xilol)          | T-102   | -      | (-) Negativo |
| 7  | Ensayo de horno película delgada                               | T-179   | D-1757 | <a 1         |
| 8  | Penetración del residuo de pérdida, x calentamiento % original | T-49    | D-5    | >a 50        |
| 9  | Porcentaje de agua   | T-55    | -      | <a 0.2       |

Fuente: Especificaciones Técnicas del fabricante

### 3.2.2. Cemento asfáltico modificado con SBS

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 el laboratorio de SEDECA

Tabla N°3. 2. Especificación técnica del asfalto modificado con SBS

| Especificaciones                            |            |        |                  |
|---|------------|--------|------------------|
| Ensayos                                     | Métodos    | Unidad | Especificaciones |
| Penetración muestra original (100g,5s,25°C) | AASTHO 149 | 0.1mm  | 40-70            |
| Punto de ablandamiento                      | AASTHO 53  | °C     | 60               |
| Punto de inflamación                        | AASTHO 48  | °C     | 235              |

Fuente: Especificación técnica del Fabricante

### 3.2.3. Grano SBR

Grano SBR, es proporcionado por Empresa Decor-Center&Greenland líder en venta de granos SBR para canchas de césped sintético, con instalaciones en el Departamento de Santa Cruz. Características del producto adjunto:

*Tabla N°3. 3. Características del grano SBR*

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Granulometría y prestaciones técnicas | 2.5 – 4 mm<br>0.8 – 2.5 mm<br>0.8 – 0.0 mm |
| Color                                 | Negro                                      |
| Procedencia                           | Termoplástico                              |
| Cantidad                              | 5 a 6 Kg/m <sup>2</sup>                    |
| Rango de dureza                       | 40-90                                      |
| Punto de combustión                   | 300 - 400                                  |
| Certificado                           | ISO 9001/ISO 14001                         |

*Fuente: Especificación técnica del Fabricante*

### 3.2.4. Ensayo de los agregados

Los materiales van a ser empleados en los diseños de mezclas asfálticas deben cumplir ciertas especificaciones propuestas por las normas ASTM y AASHTO

Los agregados pétreos que se van a utilizar en la investigación, son provenientes de la planta chancadora Garzón ubicada en San Mateo, que es una de las plantas con las que cuenta con grava, gravilla y arena.

Para la caracterización de los agregados se realizaron los ensayos que demuestran la calidad que presentan, para ello se muestran los ensayos realizados.

Se realiza los ensayos para los agregados pétreo:

Grava 3/4"

Grava 3/8" (Gravilla)

Arena Triturada

*Figura N°3. 3. Banco de agregados*



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.2.5. Ensayo de Granulometría (AASTHO T-27) (ASTM C-136)**

*Figura N°3. 4. Agregado grueso*



*Fuente: Elaboración propia*

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y fino de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas.

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de

agregados en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentaje retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de los valores de material (granulometría)

Las mallas de prueba que se usan comúnmente para los proyectos de carreteras con aquellas con abertura de 2½, 2, 1½, 1, ¾, ½, 3/8 de pulgada cuadrada para las fracciones grandes y con 4, 10, 40, 80, 100 y 200 mallas por pulgada para las fracciones más pequeñas. Estas últimas mallas se designan como N° 4, N°10, etc.

A la porción de material agregado que queda retenida en la malla No. 10 (esto es, con partículas mayores de 2,00 mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que para por la malla No. 10 pero queda retenido en la malla No 200 (partículas mayores que 0.075) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla No. 200 se llama fino y corresponde a impurezas, limos y arcillas.

*Tabla N°3. 4. Planilla de resultados de la granulometría, ensayo 1*

| <b>Peso muestra</b> | <b>4800.0 gr.</b> |                   | <b>4200.0 gr</b> |                   | <b>3800.0gr</b>        |                   |
|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| <b>Tamiz</b>        | <b>Grava</b>      |                   | <b>Gravilla</b>  |                   | <b>Arena Triturada</b> |                   |
| <b>N°</b>           | <b>Peso Ret.</b>  | <b>% Que Pasa</b> | <b>Peso Ret.</b> | <b>% Que Pasa</b> | <b>Peso Ret.</b>       | <b>% Que Pasa</b> |
| <b>1"</b>           | 0,0               | 100,0             | 0,0              | 100,0             | 0,0                    | 100,0             |
| <b>3/4"</b>         | 880,8             | 81,7              | 0,0              | 100,0             | 0,0                    | 100,0             |
| <b>1/2"</b>         | 4675,7            | 2,6               | 15,1             | 99,6              | 0,0                    | 100,0             |
| <b>3/8"</b>         | 4792,4            | 0,2               | 704,2            | 83,2              | 0,0                    | 100,0             |
| <b>N°4</b>          | 4796,5            | 0,1               | 3096,9           | 26,3              | 353,1                  | 90,7              |
| <b>N°8</b>          | 4798,4            | 0,0               | 4180,3           | 0,5               | 829,6                  | 78,2              |
| <b>N°16</b>         | 4799,3            | 0,0               | 4189,6           | 0,2               | 1426,3                 | 62,5              |
| <b>N°30</b>         | 4799,5            | 0,0               | 4195,4           | 0,1               | 1996,5                 | 47,5              |
| <b>N°50</b>         | 4799,6            | 0,0               | 4197,3           | 0,1               | 2558,9                 | 32,7              |
| <b>N°100</b>        | 4799,7            | 0,0               | 4199,1           | 0,0               | 2946,6                 | 22,5              |
| <b>N°200</b>        | 4799,7            | 0,0               | 4199,1           | 0,0               | 3411,9                 | 10,2              |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°3. 5. Planilla de resultados de la granulometría, ensayo 2

| Peso muestra | 5000.0gr. |            | 5000.0gr  |            | 5000.0gr        |            |
|--------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------------|------------|
|              | Grava     |            | Gravilla  |            | Arena Triturada |            |
| N°           | Peso Ret. | % Que Pasa | Peso Ret. | % Que Pasa | Peso Ret.       | % Que Pasa |
| 1"           | 0,0       | 100,0      | 0,0       | 100,0      | 0,0             | 100,0      |
| 3/4"         | 853,3     | 81,7       | 0,0       | 100,0      | 0,0             | 100,0      |
| 1/2"         | 4529,6    | 2,6        | 15,6      | 99,6       | 0,0             | 100,0      |
| 3/8"         | 4642,7    | 0,2        | 729,4     | 83,2       | 0,0             | 100,0      |
| N°4          | 4646,6    | 0,1        | 3207,5    | 26,3       | 334,5           | 90,7       |
| N°8          | 4648,4    | 0,0        | 4329,6    | 0,5        | 785,9           | 78,2       |
| N°16         | 4649,4    | 0,0        | 4339,2    | 0,2        | 1351,3          | 62,5       |
| N°30         | 4649,6    | 0,0        | 4345,2    | 0,1        | 1891,4          | 47,5       |
| N°50         | 4649,6    | 0,0        | 4347,2    | 0,1        | 2424,2          | 32,7       |
| N°100        | 4649,7    | 0,0        | 4349,1    | 0,0        | 2791,5          | 22,5       |
| N°200        | 4649,7    | 0,0        | 4349,1    | 0,0        | 3232,3          | 10,2       |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3. 6. Planilla de resultado de la granulometría, ensayo 3

| Peso muestra | 4500.0 gr. |            | 3800.0gr  |            | 3200.0gr        |            |
|--------------|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------|
|              | Grava      |            | Gravilla  |            | Arena Triturada |            |
| N°           | Peso Ret.  | % Que Pasa | Peso Ret. | % Que Pasa | Peso Ret.       | % Que Pasa |
| 1"           | 0,0        | 100,0      | 0,0       | 100,0      | 0,0             | 100,0      |
| 3/4"         | 825,8      | 81,7       | 0,0       | 100,0      | 0,0             | 100,0      |
| 1/2"         | 4383,5     | 2,6        | 13,6      | 99,6       | 0,0             | 100,0      |
| 3/8"         | 4492,9     | 0,2        | 637,2     | 83,2       | 0,0             | 100,0      |
| N°4          | 4496,7     | 0,1        | 2801,9    | 26,3       | 297,4           | 90,7       |
| N°8          | 4498,5     | 0,0        | 3782,2    | 0,5        | 698,6           | 78,2       |
| N°16         | 4499,4     | 0,0        | 3790,6    | 0,2        | 1201,1          | 62,5       |
| N°30         | 4499,6     | 0,0        | 3795,8    | 0,1        | 1681,2          | 47,5       |
| N°50         | 4499,7     | 0,0        | 3797,6    | 0,1        | 2154,8          | 32,7       |
| N°100        | 4499,7     | 0,0        | 3799,2    | 0,0        | 2481,4          | 22,5       |
| N°200        | 4499,7     | 0,0        | 3799,2    | 0,0        | 2873,2          | 10,2       |

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.6. Ensayo de Desgaste de la Máquina de los Ángeles (AASTHO T-96) (ASTM C-131)

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

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante. Por esta razón los agregados que están en, o de la superficie, como son los materiales de base y carpetas asfálticas, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.

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

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (¾”), por medio de la máquina de los Ángeles.

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

*Figura N°3. 5. Desgaste por medio de la máquina de los Ángeles*



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°3. 7.Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4"

| Pasado                                | Retenido | Cantidad tomada (gr)                      |
|---------------------------------------|----------|---|
| 3/4                                   | 1/2      | 2500                                      |
| 1/2                                   | 3/8      | 2500                                      |
| Retenido tamiz de corte N° 12 (1.7mm) |          | 3680                                      |
| Tipo de graduación "B"                |          |   |
| Diferencia                            |          | 1320                                      |
| Numero de ensayos realizados          |          | 1   |
| Carga abrasiva                        |          | 11 esferas a 32.5 Rpm<br>500 Revoluciones |

Fuente: Elaboración propia

**Cálculos:**

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1320 \text{ gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 26.4 \%$$

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

| Pasado                                | Retenido | Cantidad tomada (gr)                     |
|---------------------------------------|----------|--|
| 3/8                                   | 1/4      | 2500                                     |
| 1/4                                   | N°4      | 2500                                     |
| Retenido tamiz de corte N° 12 (1.7mm) |          | 3915                                     |
| Tipo de Graduación "C"                |          |  |
| Diferencia                            |          | 1085                                     |
| Numero de ensayos realizados          |          | 1  |
| Carga abrasiva                        |          | 8 esferas a 32.5 Rpm<br>500 Revoluciones |

Fuente: Elaboración propia

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1085 \text{ gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 21.7\%$$

### 3.2.7. Ensayo de Durabilidad por el Método de los Sulfatos para determinar la desintegración (AASTHO T-104) (ASTM C-88)

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfuro de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climatológicos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

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

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

*Figura N°3. 6. Sumergir los agregados con sulfato de sodio*



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°3. 9.Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso

| Granulometría |       |       |          | Peso materiales |             |
|---------------|-------|-------|----------|-----------------|-------------|
| Tamiz         | Tamiz | Tamiz | Material | Antes           | Después     |
| N°            | Pasa  |       |          | Ensayo(gr)      | Ensayos(gr) |
| 1"            | 1"    | 3/4"  | 100.0    | 0.0             | 0.0         |
| 3/4"          | 3/4"  | 1/2"  | 98.7     | 700.2           | 696.4       |
| 1/2"          | 1/2"  | 3/8"  | 81.5     | 501.1           | 495.6       |
| 3/8"          | 3/8"  | N°4   | 78.6     | 300.9           | 295.6       |
| N°4           | N°4   | N°8   | 51.7     | 300.0           | 293.3       |

Fuente: Elaboración propia

### Procedimiento de Cálculo para el tamizado 3/4"

Pérdida por diferencia = Peso antes ensayo – Peso después ensayo

$$\text{Pérdida por diferencia} = 700.2 - 697.4$$

$$\text{Pérdida por diferencia} = 2.8\%$$

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

$$\% \text{Pasa al tamiz} = 98.7 - 81.5$$

$$\% \text{Pasa al tamiz} = 17.2\%$$

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

$$\% \text{de pérdida respecto al tamiz} = \frac{2.7}{700.2} * 100\%$$

$$\% \text{de pérdida respecto al tamiz} = 0.39\%$$

%de p. r. a la muestra total

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

$$\% \text{de pérdida respecto a la muestra total} = \frac{0.39}{100} * \frac{17.2}{100} * 100\%$$

**% de pérdida respecto a la muestra total = 0.07%**

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

*Tabla N°3. 10. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado grueso*

| <b>Tamiz N°</b> | <b>Perdida por Diferencia (gr.)</b> | <b>% Pasa al Tamiz más fino</b> | <b>%Perdida Respecto Tamiz</b> | <b>% Perdida Respecto Muestra Total</b> |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| <b>1"</b>       | 3.8                                 | 17.2                            | 0.54                           | 0.09                                    |
| <b>3/4"</b>     | 5.6                                 | 2.9                             | 1.12                           | 0.03                                    |
| <b>1/2"</b>     | 5.3                                 | 26.9                            | 1.76                           | 0.47                                    |
| <b>3/8"</b>     | 8.7                                 | 51.7                            | 2.90                           | 1.07                                    |
| <b>N°4</b>      | 0.0                                 | 0.0                             | 0.0                            | 0.0                                     |

*Fuente: Elaboración propia*

$$\% \text{Total de pérdida (Grueso)} = \sum \% \text{ de pérdida respecto a la muestra total}$$

**%Total de pérdida (Grueso) = 1.74%**

*Tabla N°3. 11. Datos del ensayo de durabilidad para agregado fino*

| <b>Granulometría</b> |                   |                   |                 | <b>Peso Materiales</b>  |                           |
|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|
| <b>Tamiz N°</b>      | <b>Tamiz Pasa</b> | <b>Tamiz Ret.</b> | <b>Material</b> | <b>Antes Ensayo(gr)</b> | <b>Después Ensayo(gr)</b> |
| <b>3/8"</b>          | <b>3/8"</b>       | <b>N°4</b>        | 51.7            | 300.0                   | 291.6                     |
| <b>N°4</b>           | <b>N°4</b>        | <b>N°8</b>        | 40.7            | 100.0                   | 95.4                      |
| <b>N°8</b>           | <b>N°8</b>        | <b>N°16</b>       | 30.7            | 100.0                   | 94.6                      |
| <b>N°16</b>          | <b>N°16</b>       | <b>N°30</b>       | 16.4            | 100.0                   | 92.5                      |
| <b>N°50</b>          | <b>N°30</b>       | <b>N°50</b>       | 11.6            | 100.0                   | 94.6                      |

*Fuente: Elaboración propia*

Para el agregado fino se realiza la misma memoria de cálculo que se mostró anteriormente, a continuación, se muestra la tabla de resultados.

Tabla N°3. 12.Resultado del ensayo de durabilidad para agregado fino

| Tamiz<br>N° | Perdida por<br>Diferencia<br>(gr.) | %Pasa al<br>Tamiz más<br>fino | %Perdida<br>Respecto<br>Tamiz | %Perdida<br>Respecto<br>Muestra Total |
|-------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| 3/8"        | 6.2                                | 11.0                          | 2.07                          | 0.23                                  |
| N°4         | 3.8                                | 10.0                          | 3.80                          | 0.38                                  |
| N°8         | 4.8                                | 14.3                          | 4.80                          | 0.69                                  |
| N°16        | 6.3                                | 4.8                           | 6.30                          | 0.30                                  |
| N°50        | 4.5                                | 11.6                          | 4.50                          | 0.52                                  |

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{Total de pérdida (Fino)} = \sum \% \text{ de pérdida respecto a la muestra total}$$

$$\% \text{Total de pérdida (Fino)} = 2.12\%$$

$$\% \text{Total de pérdida} = \% \text{Total de pérdida (Grueso)} + \% \text{Total de pérdida (Fino)}$$

$$\% \text{Total de pérdida} = 1.74 + 2.12$$

$$\% \text{Total de pérdida} = 2.53\%$$

### 3.2.8. Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASTHO T-85) (ASTM C-127)

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

Para este ensayo se realizó la medición del peso específico para la gravilla 3/8" y para la grava 3/4"

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

Después se lo sumerge en agua, se seca la muestra del agua y se secan partículas redondas sobre un paño a continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturación con superficie seca (S.S.S.)

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

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-85 y ASTM C-127.

*Figura N°3. 7. Agregado saturado 24hrs, antes del peso superficialmente seco*



*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°3. 13. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso*

| <b>Descripción</b>                           | <b>Unidad</b> | <b>Grava 3/4"</b> | <b>Gravilla 3/8"</b> |
|--|---------------|-------------------|----------------------|
| Peso muestra saturada de superficie seca (a) | gr.           | 3550              | 3800                 |
| Peso material Seco (b)                       | gr.           | 3515              | 3765                 |
| Peso muestra + cesto suspensión en Agua      | gr.           | 2200              | 2362                 |
| Peso del cesto suspensión en agua            | gr.           | 0                 | 0                    |
| Peso muestra suspendida Agua (c)             | gr.           | 2200              | 2362                 |

*Fuente: Elaboración propia*

**Cálculos:****Grava de 3/4**

$$\text{Peso Especifico del agregado seco} = \frac{b}{a - c}$$

$$\text{Peso Especifico del agrado seco} = \frac{3515}{2550 - 2200}$$

$$\text{Peso Especifico del agregado seco} = \mathbf{2.604\text{gr/cm}^3}$$

$$\text{P. E. A. Saturado se Superficie Seca} = \frac{a}{a - c}$$

$$\text{P. E. A. Saturado de superficie Seca} = \frac{3500}{3550 - 2200}$$

$$\text{P. E. A. Saturado de superficie Seca} = \mathbf{2.630\text{gr/cm}^3}$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{b}{b - c}$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{3515}{3515 - 2200}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \mathbf{2.673\text{gr/cm}^3}$$

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

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{35550 - 3515}{3515} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = \mathbf{0.996\%}$$

*Tabla N°3. 14.Resultados del ensayo de peso específico del agregado 3/4"*

|                                    |        |       |
|------------------------------------|--------|-------|
| Peso Específico del Agregado Seco  | gr/cm3 | 2.604 |
| P.E.A. Saturado de Superficie Seca | gr/cm3 | 2.630 |
| Peso Específico Aparente           | gr/cm3 | 2.673 |
| % de Absorción                     | %      | 0.996 |

*Fuente: Elaboración propia*

El mismo procedimiento de cálculo se realiza para la gravilla de 3/8:

*Tabla N°3. 15.Resultados de ensayo de peso específico de la gravilla 3/8"*

|                                    |                    |       |
|------------------------------------|--------------------|-------|
| Peso Específico del Agregado Seco  | gr/cm <sup>3</sup> | 2.618 |
| P.E.A. Saturado de Superficie Seca | gr/cm <sup>3</sup> | 2.643 |
| Peso Específico Aparente           | gr/cm <sup>3</sup> | 2.684 |
| % de Absorción                     | %                  | 0.930 |

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.2.9. Ensayo de peso específico y absorción de agua del agregado fino (AASTHO T-84) (ASTM C-128)**

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del 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, expresada como un porcentaje en peso. El peso específico aparente es la relación entre el peso del agua correspondiente a su volumen aparente, este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-84 y ASTM C-128.

*Figura N°3. 8.Determinando el peso, superficialmente seco*



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°3. 16.Datos del ensayo peso especifico del agregado fino

| Descripción                                  | Arena (gr) | Arena (gr) |
|--|------------|------------|
| Peso franco seco vacío                       | 161.7      | 161.7      |
| Peso frasco + muestra                        | 347.7      | 348.2      |
| Peso muestra saturada de superficie seca (X) | 298.3      | 298.3      |
| Peso muestra seca (a)                        | 293.3      | 293.6      |
| Peso agua (w)                                | 525.7      | 532.0      |
| Peso muestra + agua (b)                      | 711.8      | 715.5      |
| Número de ensayos                            | 2          |            |

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\text{Peso Especifico del Agregado Seco} = \frac{a}{(X + w) - b}$$

$$\text{Peso Especifico del Agregado Seco} = \frac{293.3}{(298.2 + 525.7) - 711.8}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = 2.614 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P. E. A. Saturado Superficial Seco} = \frac{x}{(x + w) - b}$$

$$\text{P. E. A. Saturado Superficial Seco} = \frac{298.3}{(298.2 + 525.7) - 711.8}$$

$$\text{P. E. A. Saturado Superficial Seco} = 2.659 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{a}{(a + b) - b}$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{293.3}{(293.3 + 525.7) - 711.8}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = 2.736 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{a}{(a + w) - b}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{x - a}{a} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{298.2 - 293.3}{293.3} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = 1.705\%$$

Para la muestra 2 se realiza el mismo procedimiento.

*Tabla N°3. 17.Resultado del ensayo de peso específico para agregado fino*

| Descripción                       | Arena (gr/cm <sup>3</sup> ) | Arena (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Peso específico del agregado seco | 2.63 gr/cm <sup>3</sup>     | 2.61.4 gr/cm <sup>3</sup>   |
| P.E.A. saturado Superficie seco   | 2.62 gr/cm <sup>3</sup>     | 2.56 gr/cm <sup>3</sup>     |
| Peso específico aparente          | 2.72 gr/cm <sup>3</sup>     | 2.71 gr/cm <sup>3</sup>     |
| % de Absorción                    | 1,7%                        | 1,6%                        |
| Número de ensayo                  | 2                           |                             |

*Fuente: Elaboración propia*

Se realizó tomar la media de los datos representativos 2,62 gr/cm<sup>3</sup>

### **3.2.10. Ensayo de Peso Unitario de los Agregados (AASTHO T-19) (ASTM C-29)**

El peso unitario de unos áridos dados puede determinar sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello se emplea un recipiente cilindro de volumen conocido. Los volúmenes empleados son normalmente 0,1 – 0,5 1,0 pies<sup>3</sup> (2,83 -14,16 -28,31litros), según el tamaño de los áridos ensayados. 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 por un recipiente lleno. Para medir el peso compactado se llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonado según el tamaño de los áridos en el ensayo.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T19 y ASTM C29.

Figura N°3. 9.Enrazando el molde, para determinar el peso unitario del agregado



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3. 18.Datos del ensayo de peso unitario de la arena

| Descripción              |                           | Unidad | 1      | 2      | 3      |
|--------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso unitario suelto     | Peso muestra + recipiente | gr.    | 7650   | 7660   | 7720   |
|                          | Peso del recipiente       | gr.    | 2600   | 2600   | 2600   |
|                          | Peso del agregado seco    | gr.    | 5050   | 5060   | 5120   |
|                          | Volumen recipiente        | cm     | 2972,6 | 2972,6 | 2972,6 |
| Peso unitario compactado | Peso muestra + recipiente | gr.    | 8150   | 8210   | 8180   |
|                          | Peso del recipiente       | gr.    | 2600   | 2600   | 2600   |
|                          | Peso del agregado seco    | gr.    | 5550   | 5610   | 5580   |
|                          | Volumen recipiente        | cm     | 2972,6 | 2972,6 | 2972,6 |

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso unitario

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{peso del agregado seco}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso Unitario} = \frac{5550}{2972,6}$$

$$\text{Peso Unitario} = 1.87 \text{ gr/cm}^3$$

Para los demás ensayos se realizó los mismos procedimientos de cálculo.

*Tabla N°3. 19.Resultados del ensayo de peso unitario de la arena*

| <b>Numero de Ensayo</b>           | <b>Unidad</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|-----------------------------------|---------------|----------|----------|----------|
| Peso unitario suelto              | gr/cm3        | 1,635    | 1,375    | 1,671    |
| Promedio peso unitario suelto     | gr/cm3        | 1,66     |          |          |
| Peso unitario compactado          | gr/cm3        | 1,87     | 1,84     | 1,83     |
| Promedio peso unitario compactado | gr/cm3        | 1,83     |          |          |
| Peso unitario de la arena         | gr/cm3        | 1,74     |          |          |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°3. 20.Datos del peso unitario de la grava 3/8"*

| <b>Descripción</b>       |                           | <b>Unidad</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------|----------|----------|
| Peso unitario suelto     | Peso muestra + recipiente | gr.           | 19885    | 20070    | 19920    |
|                          | Peso del recipiente       | gr.           | 5750     | 5750     | 5750     |
|                          | Peso del agregado seco    | gr.           | 14135    | 14320    | 14170    |
|                          | Volumen recipiente        | cm            | 9883     | 9883     | 9883     |
| Peso unitario compactado | Peso muestra + recipiente | gr.           | 21105    | 21295    | 21156    |
|                          | Peso del recipiente       | gr.           | 5750     | 5750     | 5750     |
|                          | Peso del agregado seco    | gr.           | 15355    | 15545    | 15406    |
|                          | Volumen recipiente        | cm            | 9883     | 9883     | 9883     |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°3. 21.Resultados del ensayo de la grava 3/8"*

| <b>Número de ensayo</b>           | <b>Unidad</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|-----------------------------------|---------------|----------|----------|----------|
| Peso unitario suelto              | gr/cm3        | 1,75     | 1,77     | 1,75     |
| Promedio peso unitario suelto     | gr/cm3        | 1,76     |          |          |
| Peso unitario compactado          | gr/cm3        | 1,87     | 1,89     | 1,88     |
| Promedio peso unitario compactado | gr/cm3        | 1,88     |          |          |
| Peso unitario de la grava         | gr/cm3        | 1,82     |          |          |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°3. 22.Datos del peso unitario de la grava 3/4"

| Descripción              |                           | Unidad | 1     | 2     | 3     |
|--------------------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|
| Peso unitario suelto     | Peso muestra + recipiente | gr.    | 19885 | 20070 | 19920 |
|                          | Peso del recipiente       | gr.    | 5750  | 5750  | 5750  |
|                          | Peso del agregado seco    | gr.    | 14135 | 14320 | 14170 |
|                          | Volumen recipiente        | cm     | 9883  | 9883  | 9883  |
| Peso unitario compactado | Peso muestra + recipiente | gr.    | 21105 | 21295 | 21156 |
|                          | Peso del recipiente       | gr.    | 5750  | 5750  | 5750  |
|                          | Peso del agregado seco    | gr.    | 15355 | 15545 | 15406 |
|                          | Volumen recipiente        | cm     | 9883  | 9883  | 9883  |

Fuente: Elaboración propio

Tabla N°3. 23.Resultados del ensayo grava 3/4"

| Número de Ensayo                  | Unidad             | 1    | 2    | 3    |
|-----------------------------------|--------------------|------|------|------|
| Peso unitario suelto              | gr/cm <sup>3</sup> | 1,75 | 1,77 | 1,75 |
| Promedio peso unitario suelto     | gr/cm <sup>3</sup> | 1,76 |      |      |
| Peso unitario compactado          | gr/cm <sup>3</sup> | 1,87 | 1,89 | 1,88 |
| Promedio peso unitario compactado | gr/cm <sup>3</sup> | 1,88 |      |      |
| Peso unitario de la gravilla      | gr/cm <sup>3</sup> | 1,81 |      |      |

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.11. Ensayo de Equivalente de Arena (AASTHO T-176) (ASTM D-2419)

El ensayo de Equivalente de arena y agregados finos asigna un valor empírico a la cantidad relativa, figura y características del material fino que está presente en una muestra de ensayo granular que pasa el tamiz N° 4(4.75mm). El equivalente de arena es una relación de la altura de arena con arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. Primeramente, se debe de tener una muestra del material y tamizarlo por el tamiz N°4 para poder tener la muestra que se utiliza para este ensayo colocarlo en un recipiente. Luego se debe de colocar la muestra que se utilizara de arena en el cilindro, se deberá verter la muestra en el cilindro con la ayuda de un embudo y hacer momento del cilindro para que se puedan perder todas las burbujas que tenga, dejar en reposo durante 10 minutos.

Colocar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro y lavar el material de las paredes del cilindro, dejar el cilindro y el contenido en reposo por  $20 \text{ min} \pm 15\text{s}$ . comenzar a medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador. Al final los 20 min del periodo de sedimentación, leer y anotar los niveles alcanzados.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-176 y ASTM D-2419.

*Figura N°3. 10. Removiendo arena, evitando posibles vacíos*



*Fuente: Elaboración propia*

Datos obtenidos en la práctica:

*Tabla N°3. 24. Datos del ensayo de equivalente de arena*

| Ensayo                       | Lecturas |      |      |
|------------------------------|----------|------|------|
|                              | 1        | 2    | 3    |
| Ensayo N°                    |          |      |      |
| Lectura nivel superior       | 14,9     | 13,6 | 13,5 |
| Lectura nivel inferior       | 9,8      | 9,6  | 9,2  |
| Numero de ensayos realizados | 3        |      |      |

*Fuente: Elaboración propia*

Cálculos:

Utilizando el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de la areana} = \frac{3.45}{5.25} * 100$$

**Equivalente de la arena = 65.71%**

*Tabla N°3. 25.Resultados del ensayo equivalente de Arena*

| Descripción       | Ensayo |       |       |
|-------------------|--------|-------|-------|
|                   | 1      | 2     | 3     |
| <b>% de Arena</b> | 66,0%  | 70,6% | 68,1% |
| <b>Promedio</b>   | 68.2%  |       |       |

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.12. Ensayo porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821-95)

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

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

*Figura N°3. 11.Separando las muestras para realizar el ensayo*



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°3. 26.Datos de ensayo de caras fracturadas

| Descripción       |                                     | Unidad | Lecturas |
|-------------------|-------------------------------------|--------|----------|
| Grava<br>3/4"     | Peso total de muestra               | gr     | 1000     |
|                   | Peso de caras fracturadas retenidas | gr     | 712      |
| Gravilla<br>3/8"  | Peso total de muestra               | gr     | 1000     |
|                   | Peso de caras fracturadas retenidas | gr     | 765      |
| Numero de ensayos |                                     | 1      |          |

Fuente: Elaboración propia

**Calculo:**

Peso caras no fracturadas = Peso Total de Muestra – Peso de Caras Fracturadas

Peso Caras No Fracturadas = 1000-712

**Peso Caras no Fracturadas = 288 gr.**

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

$$\text{Porcentaje de Caras fracturadas} = \frac{712}{1000} * 100$$

**Porcentaje de Caras Fracturadas = 71.20%**

Tabla N°3. 27.Resultados del ensayo de caras fracturadas

| Descripción   |                                     | Unidad | Lecturas |
|---------------|-------------------------------------|--------|----------|
| Grava 3/4"    | Peso total de muestra               | gr     | 288,0    |
|               | Peso de caras fracturadas retenidas | gr     | 71,20    |
| Gravilla 3/8" | Peso total de muestra               | gr     | 235,0    |
|               | Peso de caras fracturadas retenidas | gr     | 76,50    |

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.13. Ensayo determinación de partículas laminares, chatas y alargadas (ASTM-4791)

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

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

*Tabla N°3. 28.Datos del ensayo partículas laminares*

| Material | Peso total de la muestra | Peso retenido de partículas laminares |
|----------|--------------------------|---------------------------------------|
| 3/4"     | 1000 gr                  | 32 gr                                 |
| 3/8"     | 1000 gr                  | 58.4 gr                               |

*Fuente: Elaboración propia*

#### Calculo:

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

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

$$\% \text{ Total de Particulas Laminares} = 3.2\%$$

*Tabla N°3. 29.Resultado del ensayo partículas laminares*

| Material | % Total de partículas laminares |
|----------|---------------------------------|
| 3/4"     | 3.2%                            |
| 3/8"     | 5.84%                           |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°3. 30.Datos del ensayo chatas alargadas

| Material | Peso total de la muestra | Peso retenido de partículas laminares |
|----------|--------------------------|---------------------------------------|
| 3/4"     | 1000 gr                  | 38,4 gr                               |
| 3/8"     | 1000 gr                  | 18,5 gr                               |

Fuente: Elaboración propia

**Calculo:**

% Total de Particulas Chatas y Alargadas

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

$$\% \text{ Total de Particulas Chatas y Alargadas} = \frac{32}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Particulas Chatas y Alargadas} = 3.84\%$$

Tabla N°3. 31.Resultado del ensayo

| Material | % Total de partículas chatas y alargadas |
|----------|--|
| 3/4"     | 3.4%                                     |
| 3/8"     | 5.84%                                    |

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.14. Ensayos realizados en el Cemento Asfáltico

Para realizar el diseño optimo se realizó la evaluación y la caracterización del cemento asfaltico 85-100.

Para el cemento asfalto modificado con SBS y SBR se realizan los siguientes ensayos señalados en la norma de la ABC, A02 Ensayos relacionados a cementos Asfalticos Modificados:

Método de ensayo de recuperación elástica para Asfaltos Modificados (ASTM D 6084-06 AASTHO T301-99)

Método para Determinar el Índice de Penetración en Asfaltos Modificados (UNE 104-281)

### 3.2.15. Ensayo de Penetración (AASTHO T49-97) (ASTM D-5)

La penetración se define como la distancia, expresada en decimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total. Incluida la aguja, de 100 gramos, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

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

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

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

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASTHO T49-97 y en el ASTM D-5.

*Figura N°3. 12. Penetración de la muestra*



*Fuente: Elaboración propia*

**Datos obtenidos del ensayo:***Tabla N°3. 32.Datos del ensayo de penetración cemento asfáltico convencional*

| Descripción              |             | Unidad | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
|--------------------------|-------------|--------|----------|----------|----------|
| Penetración a 25°C, 5seg | Lectura N°1 | mm     | 86       | 88       | 92       |
|                          | Lectura N°2 | mm     | 88       | 93       | 91       |
|                          | Lectura N°3 | mm     | 98       | 97       | 92       |
| Promedio                 |             | mm     | 91       | 93       | 92       |
| Numero de ensayos        |             |        | 3        |          |          |

*Fuente: Elaboración propia***Calculo:**

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: Realizando la media se tiene como valor de penetración de 91.5mm a 25°C, 5seg.

**Datos obtenidos:***Tabla N°3. 33.Datos del ensayo de penetración cemento asfáltico modificado SBS*

| Descripción              |             | Unidad | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
|--------------------------|-------------|--------|----------|----------|----------|
| Penetración a 25°C, 5seg | Lectura N°1 | mm     | 63       | 58       | 55       |
|                          | Lectura N°2 | mm     | 62       | 58       | 54       |
|                          | Lectura N°3 | mm     | 62       | 58       | 55       |
| Promedio                 |             | mm     | 62       | 58       | 55       |
| Numero de Ensayos        |             |        | 3        |          |          |

*Fuente: Elaboración propia*

**Cálculos:**

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: Realizando la media se tiene como valor de penetración de 91.5mm a 25°C, 5seg.

**Tabla N° 1 Datos del ensayo de penetración Asfalto Modificado con SBR**

*Tabla N°3. 34.Datos del ensayo de penetración asfalto modificado con SBR*

| Descripción              |             | Unidad | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
|--------------------------|-------------|--------|----------|----------|----------|
| Penetración a 25°C, 5seg | Lectura N°1 | mm     | 108      | 110      | 102      |
|                          | Lectura N°2 | mm     | 105      | 98       | 105      |
|                          | Lectura N°3 | mm     | 102      | 104      | 110      |
| Promedio                 |             | mm     | 105      | 104      | 106      |
| Numero de Ensayos        |             |        | 3        |          |          |

*Fuente: Elaboración propia*

**Cálculos:**

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: Realizando la media se tiene como valor de penetración de 105 mm a 25°C, 5seg.

**3.2.16. Ensayo Punto de inflamación (ASTHO T-48) (ASTM D-92)**

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separa materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

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

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de punto de inflamación se describen en el Método AASTHO T-18 y en el ASTM D-92

*Figura N°3. 13.Punto de inflamación*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **Datos obtenidos:**

*Tabla N°3. 35.Datos del ensayo punto de inflamación cemento asfáltico convencional*

| <b>Ensayo</b>                    | <b>Unidad</b> | <b>Ensayo 1</b> |
|----------------------------------|---------------|-----------------|
| Punto de Inflamación AASTHO T-48 | °C            | >270            |
| Numero de ensayos                |               | 1               |

*Fuente: Elaboración propia*

#### **Calculo:**

Realizando el cálculo del ensayo realizado

Resultados: 270°C.

Tabla N°3. 36.Datos del ensayo de punto de inflamación asfalto modificado SBS

| Ensayo                           | Unidad | Ensayo 1 | Ensayo 2 |
|----------------------------------|--------|----------|----------|
| Punto de Inflamación AASTHO T-48 | °C     | 270      | 265      |
| Numero de ensayos                | 2      |          |          |

Fuente: Elaboración propia

**Calculo:**

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado: 268°C

Tabla N°3. 37.Datos del ensayo punto de inflamación asfalto modificado SBR

| Ensayo                           | Unidad | Ensayo 1 | Ensayo 2 |
|----------------------------------|--------|----------|----------|
| Punto de Inflamación AASTHO T-48 | °C     | 235      | 220      |
| Numero de ensayos                | 2      |          |          |

Fuente: Elaboración propia

**Calculo:**

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado: 228°C

**3.2.17. Ensayo peso específico del asfalto (AASTHO T-43) (ASTM d-70)**

El peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al paso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas específicas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-43 y ASTM D-70.

Figura N°3. 14. Picnómetro mas muestra a 25°C



Fuente: Elaboración propia

### Datos obtenidos

Tabla N°3. 38. Datos del ensayo de peso específico asfalto convencional

| Ensayo                           | Unidad             | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
|----------------------------------|--------------------|----------|----------|----------|
| Peso picnómetro                  | gr                 | 33,8     | 34,1     | 32,9     |
| Peso picnómetro + agua (25°C)    | gr                 | 81,25    | 81,3     | 78,5     |
| Peso picnómetro + muestra        | gr                 | 63,55    | 62,6     | 61,1     |
| Peso picnómetro + agua + muestra | gr                 | 81,55    | 81,6     | 78,8     |
| Peso específico                  | gr/cm <sup>3</sup> | 1.007    | 1,008    | 1,008    |
| Numero de ensayos                |                    | 3        |          |          |

Fuente: Elaboración propia

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado:

Peso específico del CA = 1.008 gr/cm<sup>3</sup>

**Datos obtenidos Asfalto Modificado:***Tabla N°3. 39.Datos del ensayo de peso específico asfalto modificado SBS*

| <b>Ensayo</b>                    | <b>Unidad</b>      | <b>Ensayo 1</b> | <b>Ensayo 2</b> | <b>Ensayo 3</b> |
|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Peso picnómetro                  | gr                 | 33,8            | 34,1            | 32,9            |
| Peso picnómetro + agua (25°C)    | gr                 | 81,3            | 81,3            | 78,4            |
| Peso picnómetro + muestra        | gr                 | 63,5            | 62,6            | 61,1            |
| Peso picnómetro + agua + muestra | gr                 | 81,55           | 81,3            | 78,7            |
| Peso específico                  | gr/cm <sup>3</sup> | 1,006           | 0,997           | 1,008           |
| Numero de ensayos                |                    | 3               |                 |                 |

*Fuente: Elaboración propia*

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado:

Peso específico del CA = 1.003 gr/cm<sup>3</sup>

**Datos obtenidos del Asfalto Modificado con SBR***Tabla N°3. 40.Datos del ensayo de peso específico asfalto modificado SBR*

| <b>Ensayo</b>                    | <b>Unidad</b>      | <b>Ensayo 1</b> | <b>Ensayo 2</b> | <b>Ensayo 3</b> |
|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Peso picnómetro                  | gr                 | 62.0            | 62,0            | 61,9            |
| Peso picnómetro + agua (25°C)    | gr                 | 142.78          | 142,78          | 142,8           |
| Peso picnómetro + muestra        | gr                 | 107,0           | 108,0           | 108,1           |
| Peso picnómetro + agua + muestra | gr                 | 142,4           | 144,0           | 145,0           |
| Peso específico                  | gr/cm <sup>3</sup> | 0,989           | 1,024           | 1,047           |
| Numero de ensayos                |                    | 3               |                 |                 |

*Fuente: Elaboración propia*

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado:

Peso específico del CA = 1.020 gr/cm<sup>3</sup>

### 3.2.18. Ensayo punto de ablandamiento (AASHTO T-53) (ASTM D-36)

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

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados. 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 equipos a utilizar se describen con detalle en los métodos AASHTO T53 y ASTM D36.

*Figura N°3. 15. Punto de ablandamiento*



*Fuente: Elaboración propia*

Datos:

*Tabla N°3. 41. Ensayo punto de ablandamiento asfalto convencional*

| <b>Descripción</b>     | <b>Unidad</b> | <b>Ensayo 1</b> | <b>Ensayo 2</b> |
|------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Punto de ablandamiento | °C            | 45              | 44              |

*Fuente: Elaboración propia*

Calculo: Se realizó un promedio de ambas muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo 45 °C.

*Tabla N°3. 42. Datos obtenidos punto de ablandamiento asfalto modificado SBS*

| <b>Descripción</b>     | <b>Unidad</b> | <b>Ensayo 1</b> | <b>Ensayo 2</b> |
|------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Punto de ablandamiento | °C            | 62,0            | 64,0            |

*Fuente: Elaboración propia*

Calculo: Se realizó a tomar un promedio de ambas muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo 63 °C

*Tabla N°3. 43. Datos obtenidos punto de ablandamiento asfalto con SBR*

| <b>Descripción</b>     | <b>Unidad</b> | <b>Ensayo 1</b> | <b>Ensayo 2</b> |
|------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Punto de ablandamiento | °C            | 45,0            | 42,0            |

*Fuente: Elaboración propia*

Calculo: Se realizó a tomar un promedio de ambas muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo 44,0 °C

### **3.2.19. Método de ensayo de recuperación elástica para asfaltos modificados (ASTM D-6084-06 AASTHO T301-99)**

Este método se utiliza en los asfaltos modificados, que comprenden los cementos modificados, con este ensayo podremos determinar cómo los elastómeros realizan un trabajo de retracción en el cemento asfáltico.

El procedimiento de este ensayo primeramente de deberá tener los materiales como; Ductilímetro y los moldes que son los equipos base, para empezar se deberá extraer la

muestra en los moldes a una temperatura menor a 110°C, dejar enfriar por 40 min a temperatura ambiente, para luego sumergir en baño María a 25°C por 30min, colocar los moldes en el ductilímetro, traccionar la muestra una vez desmoldados hasta una longitud de 20 cm para luego realizar un corte equidistante observar la retracción de la muestra hasta un tiempo considerable y medir la distancia de retracción, con aproximación a 1 decimal.

*Figura N°3. 16. Recuperación elástica, asfalto modificado SBS*



*Fuente: Elaboración propia*

**Cálculo:**

$$\mathbf{Re(\%)} = \frac{L_f}{L_i} * 100$$

Re = recuperación elástica

Li = Longitud inicial 20 cm

Lf = Longitud de retracción

$$\mathbf{Re(\%)} = \frac{17,6}{20} * 100 = 88\%$$

*Tabla N°3. 44. Datos obtenidos de la recuperación elástica asfalto con SBS*

| <b>Muestras</b>           | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| Longitud inicial (cm)     | 20       | 20       | 20       |
| Longitud final (cm)       | 17.6     | 18,0     | 16.8     |
| Recuperación elástica (%) | 88       | 90       | 84       |

*Fuente: Elaboración propia*

Resultado: Recuperación elástica se obtiene del promedio de los tres ensayos 87.0%

Tabla N°3. 45.Datos obtenidos de recuperación elástica asfalto modificado con SBR

| Muestras                  | 1   | 2  | 3  |
|---------------------------|-----|----|----|
| Longitud inicial (cm)     | 20  | 20 | 20 |
| Longitud final (cm)       | 6,4 | 7  | 6  |
| Recuperación elástica (%) | 32  | 35 | 30 |

*Fuente: Elaboración propia*

Resultado: Recuperación elástica se obtiene del promedio de los tres ensayos 32,0%

Nota: Para el asfalto convencional no presenta recuperación Elástica, por lo que no se realizó el ensayo.

### 3.2.20. Requisitos de granulometría para caucho SBR

Para esta investigación se utilizó un elastómero (Caucho estireno-butadieno); el producto fue proporcionado por la empresa líder en la venta de Caucho granulado Decorcenter&GreenLand de la ciudad de Santa Cruz. El caucho es de color negro, con tamaños que varían de N°8 (2.36mm) al tamiz N°200 (0.075mm)

Para la característica de los materiales C.CMT.4.05.002/01 indica para la modificación del asfalto con caucho SBR se deberá realizar una granulometría de las mismas. Las granulometrías serán menores a 2mm, Tamiz N°10

Figura N°3. 17.Granulometría caucho SBR



*Fuente: elaboración propia*

Tabla N°3. 46. Granulometría grano SBR

|                 |            |            |
|-----------------|------------|------------|
| Peso total seco | 6022.0 gr. |            |
| Tamiz           | Caucho     |            |
| N°              | Peso Ret.  | % Que Pasa |
| 16              | 0.0        | 100.0      |
| 40              | 349.0      | 94.6       |
| 100             | 5570.0     | 6.2        |
| 200             | 512        | 52         |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.21. Peso específico del grano SBR

La densidad de una sustancia se define como la masa de esa sustancia por unidad de volumen, esto es el resultado de dividir la masa (gr) conocida (gr) entre el volumen desalojado conocido (mml,cm3).

$$\gamma = \frac{m}{v} = \frac{gr}{vol}$$

$$\gamma = \frac{10}{8.87} = 1.149 \frac{gr}{cm^3}$$

### 3.2.22. Degradación de grano SBR a temperatura superior a 150 °C

Se realizó el ensayo de punto de inflamación del grano SBR para determinar la temperatura más alta a la que puede ser calentarse son peligro de inflamación en presencia de llama libre.

Figura N°3. 18. Punto de inflamación grano SBR



Fuente: Elaboración propia

En este ensayo experimental se observó una inflamación a una temperatura de 185°C por lo que se puede realizar diseño con mezclas asfálticas de 140 a 160 °C

### 3.2.23. Cantidad de asfalto y grano SBR, para determinar mejores propiedades en mezclas asfálticas.

*Tabla N°3. 47.Cemento asfaltico más 10% SBR*

| Descripción                    | Porcentaje de grano SBR 10% |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|                                | 4,0%                        | 4,5% | 5,0% | 5,5% | 6,0% | 6,5% |
| <b>Peso asfalto</b>            | 48,6                        | 54,0 | 59,4 | 64,8 | 70,2 | 75,6 |
| <b>Peso 10% SBR</b>            | 5,4                         | 6,0  | 6,6  | 7,2  | 7,8  | 8,4  |
| <b>Peso asfalto modificado</b> | 54,0                        | 6,0  | 6,6  | 72,0 | 78,0 | 84,0 |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°3. 48.Asfalto mas 15% SBR*

| Descripción                    | Porcentaje de grano SBR 15% |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|                                | 4,0%                        | 4,5% | 5,0% | 5,5% | 6,0% | 6,5% |
| <b>Peso asfalto</b>            | 45,9                        | 51,0 | 56,1 | 61,2 | 66,3 | 71,4 |
| <b>Peso 10% SBR</b>            | 8,1                         | 9,0  | 9,9  | 10,8 | 11,7 | 12,6 |
| <b>Peso asfalto modificado</b> | 54,0                        | 6,0  | 6,6  | 72,0 | 78,0 | 84,0 |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°3. 49.Asfalto más 20% SBR*

| Descripción                    | Porcentaje de grano SBR 20% |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|                                | 4,0%                        | 4,5% | 5,0% | 5,5% | 6,0% | 6,5% |
| <b>Peso asfalto</b>            | 43,2                        | 48,0 | 52,8 | 57,6 | 62,4 | 67,2 |
| <b>Peso 10% SBR</b>            | 10,8                        | 12,0 | 13,2 | 14,4 | 15,6 | 16,8 |
| <b>Peso asfalto modificado</b> | 54,0                        | 60,0 | 66,0 | 72,0 | 78,0 | 84,0 |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°3. 50.Asfalto mas 25% SBR*

| Descripción                    | Porcentaje de grano SBR 25% |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|                                | 4,0%                        | 4,5% | 5,0% | 5,5% | 6,0% | 6,5% |
| <b>Peso asfalto</b>            | 40,5                        | 45,0 | 49,5 | 54,0 | 58,5 | 63,0 |
| <b>Peso 10% SBR</b>            | 13,5                        | 45,0 | 49,5 | 54,0 | 58,5 | 21,0 |
| <b>Peso asfalto modificado</b> | 54,0                        | 60,0 | 66,0 | 72,0 | 78,0 | 84,0 |

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.24. Proceso de mezclado

*Figura N°3. 19.Agregando % de SBR*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°3. 20.Proceso de mezclado asfalto y grano SBR*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°3. 21. Control de temperatura a la mezcla SBR*



*Fuente: Elaboración propia*

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

#### 4.1. Resultados de Levantamiento de la Información

#### 4.2. Agregados pétreos

Se presenta los resultados obtenidos de la recolección de información, los mismos que son comparados con las especificaciones propuestas por la norma ASTM.

*Tabla N°4. 1.Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos*

| Ensayo  | Agregados     | Especificación |      | Resultado               | ASTM   |
|---|---------------|----------------|------|-------------------------|--------|
|   |               | Mín.           | Máx. |                         |        |
| Desgaste mediante la máquina de los ángeles                                 | Grava 3/4"    | -              | 40%  | 28 %                    | C-131  |
|   | Gravilla 3/8" |                | 40%  | 28,80 %                 |        |
| Durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración | Grava;        |                | 12%  | 2.10%                   | C-88   |
|   | Gravilla      |                | 12%  | 2.53%                   |        |
| Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos                    | Grava 3/4"    | -              | -    | 2.63 gr/cm <sup>3</sup> | C-127  |
|   | Gravilla 3/8" | -              | -    | 2.63 gr/cm <sup>3</sup> |        |
| Peso específico y absorción de agua en agregados finos                      | Arena         | -              | -    | 2.66 gr/cm <sup>3</sup> | C-128  |
| Peso unitario   | Grava 3/4"    | -              | -    | 1.88 gr/cm <sup>3</sup> | C-29   |
|   | Gravilla 3/8" | -              | -    | 1.88 gr/cm <sup>3</sup> |        |
|   | Arena         | -              | -    | 1.88gr/cm <sup>3</sup>  |        |
| Equivalente de arena  | Arena         | 45%            | -    | 65.7%                   | D-2419 |
| Porcentaje de caras fracturadas   | Grava 3/4"    | 75%            | -    | 71.20%                  | D-5821 |
|   | Gravilla 3/8" | 75%            | -    | 76.50%                  |        |
| Porcentaje de agregados chatas ya alargadas                                 | Grava 3/4"    | -              | 10%  | 3.84%                   | D 4791 |
|   | Gravilla 3/8" | -              | 10%  | 1.86%                   |        |
| Laminaridad   | Grava 3/4"    | -              | 15%  | 3.20%                   |        |
|   | Gravilla 3/8" | -              | 15%  | 5.84%                   |        |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2. Cemento Asfáltico

Se presenta los resultados obtenidos de la recolección de información, los mismos que son comparados con las especificaciones propuestas por la norma ASTM.

*Tabla N°4. 2.Resultados de los ensayos de caracterización del asfalto convencional*

| Ensayo                 | Especificación |        | Resultados              | Norma      |
|------------------------|----------------|--------|-------------------------|------------|
|                        | Mínimo         | Máximo |                         |            |
| Peso específico        | 1              | 1,05   | 1,008gr/cm <sup>3</sup> | ASTM D-70  |
| Punto de ablandamiento | 30             |        | 45,0°C                  | ASTM D-36  |
| Punto de inflamación   | 232            | -      | 270°C                   | ASTM-92    |
| Penetración            | 85             | 100    | 92,0mm                  | ASTM D-5   |
| Ductilidad             | 100            | -      | 102,0                   | ASTM D-102 |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°4. 3.Resultado de ensayos, caracterización de asfalto modificado SBS*

| Ensayo                 | Especificación |        | Resultados              | Norma      |
|------------------------|----------------|--------|-------------------------|------------|
|                        | Mínimo         | Máximo |                         |            |
| Peso específico        | 1              | 1,05   | 1,003gr/cm <sup>3</sup> | ASTM D-70  |
| Punto de ablandamiento | 30             |        | 58,0°C                  | ASTM D-36  |
| Punto de inflamación   | 232            | -      | 268°C                   | ASTM-92    |
| Penetración            | 85             | 100    | 58,5mm                  | ASTM D-5   |
| Ductilidad             | 100            | -      | --                      | ASTM D-102 |
| Recuperación elástica  | 85             | -      | 87 %                    | ASTM D6084 |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°4. 4.Resultado de ensayos, caracterización de asfalto modificado 15%SBR

| Ensayo                 | Especificación |        | Resultados             | Norma      |
|------------------------|----------------|--------|------------------------|------------|
|                        | Mínimo         | Máximo |                        |            |
| Peso específico        | 1              | 1,05   | 1,02gr/cm <sup>3</sup> | ASTM D-70  |
| Punto de ablandamiento | 30             |        | 44 °C                  | ASTM D-36  |
| Punto de inflamación   | 232            | -      | 228 °C                 | ASTM-92    |
| Penetración            | 85             | 100    | 105 mm                 | ASTM D-5   |
| Ductilidad             | 100            | -      | 92                     | ASTM D-102 |
| Recuperación elástica  | -              | -      | 32                     | ASTM D6084 |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Combinación de Agregados

A continuación, se indica los datos para realizar el ensayo.

Tabla N°4. 5.Resumen de la granulometría grava 3/4"

| N° Ensayo | % Que Pasa por Tamiz |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-----------|----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|           | 1"                   | 3/4"  | 3/2" | 3/8" | N°4  | N°8  | N°16 | N°30 | N°50 | N°100 | N°200 |
| 1         | 100,00               | 81,65 | 2,58 | 0,15 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00  |
| 2         | 100,00               | 81,66 | 2,56 | 0,15 | 0,08 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00  |
| 3         | 100,00               | 81,69 | 2,56 | 0,19 | 0,11 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00  |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 6.Tratamiento estadístico grava 3/4"

| Resumen Estadístico |     |       |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|-----|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N° de Ensayo        | 3   | 3     | 3    | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| Valor Máximo        | 100 | 81,69 | 2,58 | 0,19 | 0,11 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Valor Mínimo        | 100 | 81,66 | 2,56 | 0,15 | 0,07 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Valor Promedio      | 100 | 81,68 | 2,57 | 0,17 | 0,10 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 7. Resumen de la granulometría grava 3/8"

| N°<br>Ensayo | % Que Pasa por Tamiz |       |       |       |       |      |      |      |      |       |       |
|--------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
|              | 1"                   | 3/4"  | 3/2"  | 3/8"  | N°4   | N°8  | N°16 | N°30 | N°50 | N°100 | N°200 |
| 1            | 100,0                | 100,0 | 99,64 | 83,23 | 26,25 | 0,45 | 0,23 | 0,09 | 0,04 | 0,00  | 0,00  |
| 2            | 100,0                | 100,0 | 99,60 | 83,23 | 26,21 | 0,45 | 0,25 | 0,09 | 0,02 | 0,00  | 0,00  |
| 3            | 100,0                | 100,0 | 99,64 | 83,23 | 26,25 | 0,45 | 0,23 | 0,09 | 0,04 | 0,00  | 0,00  |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 8. Tratamiento estadístico grava 3/8"

| Resumen Estadístico |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| N°<br>de<br>Ensayo  | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    |
| Valor<br>Máximo     | 100,0 | 100,0 | 99,64 | 83,23 | 26,25 | 0,45 | 0,23 | 0,09 | 0,04 | 0,00 | 0,00 |
| Valor<br>Mínimo     | 100,0 | 100,0 | 99,60 | 83,23 | 26,21 | 0,45 | 0,25 | 0,09 | 0,02 | 0,00 | 0,00 |
| Valor<br>Promedio   | 100,0 | 100,0 | 99,62 | 83,23 | 26,23 | 0,45 | 0,24 | 0,09 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 9. Resumen de la granulometría arena

| N°<br>Ensayo | % Que Pasa por Tamiz |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 1"                   | 3/4"  | 3/2"  | 3/8"  | N°4   | N°8   | N°16  | N°30  | N°50  | N°100 | N°200 |
| 1            | 100,0                | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 90,71 | 78,17 | 62,46 | 47,46 | 32,65 | 22,45 | 10,20 |
| 2            | 100,0                | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 90,65 | 78,15 | 62,40 | 47,44 | 32,59 | 22,43 | 10,14 |
| 3            | 100,0                | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 90,79 | 78,33 | 62,54 | 47,46 | 32,86 | 22,45 | 10,20 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 10.Tratamiento estadístico arena

| <b>Resumen Estadístico</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>N° Ensayo</b>           | <b>3</b> |
| Valor Máx.                 | 100,0    | 100,0    | 100,0    | 100,0    | 90,79    | 78,33    | 62,54    | 47,46    | 32,86    | 22,45    | 10,20    |
| Valor Mín.                 | 100,0    | 100,0    | 100,0    | 100,0    | 90,65    | 78,15    | 62,40    | 47,44    | 32,59    | 22,43    | 10,14    |
| Valor Prom.                | 100,0    | 100,0    | 100,0    | 100,0    | 90,68    | 78,42    | 62,45    | 47,45    | 32,72    | 22,44    | 10,18    |

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2.1. Dosificación del material pétreo**

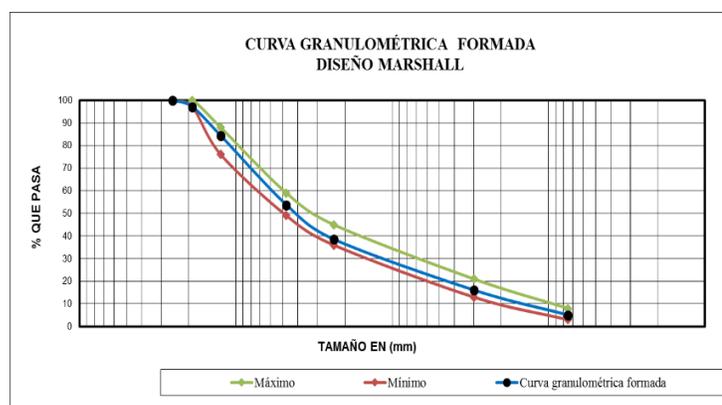
Se realiza las dosificaciones de los porcentajes de cada agregado de manera que se pueda cumplir con las especificaciones, los agregados son de la chancadora Garzón, ubicada en la comunidad de san mateo lo que se determinó la faja de la granulometría de la mezcla asfáltica convencional y modificado con SBS y SBR lo cual se desarrolló en laboratorio particular, se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 16% de agregado grueso de 3/4", 35% de grava de 3/8" y 49% de agregado fino para la granulometría de la mezcla.

Tabla N°4. 11. Dosificación de materiales pétreos

| Agregados |       | Grava   |         | Gravilla |         | Arena   |         | % Que Pasa | Faja C           |          | Tolerancias | Faja                 |          |
|-----------|-------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|------------|------------------|----------|-------------|----------------------|----------|
| % Usado   |       | 0.16    |         | 0.35     |         | 0.49    |         |            | Curva de trabajo |          |             | Especif. grad. media |          |
| Pulg      | mm    | % Total | % Comb. | % Total  | % Comb. | % Total | % Comb. |            | Inferior         | Superior |             | Inferior             | Superior |
| 1"        | 24,4  | 100     | 16.0    | 100      | 35      | 100     | 49      | 100        | 100              | 100      |             | 100                  | 100      |
| 3/4"      | 19,1  | 81.6    | 13.0    | 100      | 35      | 100     | 49      | 97.1       | 97               | 100      |             | 97                   | 100      |
| 1/2"      | 12,5  | 2.58    | 0.41    | 99.6     | 34.8    | 100     | 49      | 84.3       | 76               | 88       | ±5          | 76                   | 88       |
| 3/8"      | 9,50  | 0.17    | 0.03    | 83.2     | 29.1    | 100     | 49      | 78.2       |                  |          |             |                      |          |
| N°4       | 4,75  | 0.08    | 0.01    | 26.2     | 9.18    | 90.7    | 44.4    | 53.6       | 49               | 59       | ±7          | 49                   | 59       |
| N°8       | 2,36  | 0.03    | 0.0     | 0.45     | 0.16    | 78.2    | 38.3    | 38.5       |                  |          |             |                      |          |
| N°16      | 1,18  | 0.01    | 0.0     | 0.23     | 0.08    | 62.4    | 30.6    | 30.7       |                  |          |             |                      |          |
| N°30      | 0,60  | 0.00    | 0.0     | 0.09     | 0.03    | 47.4    | 23.2    | 23.3       | 20               | 28       | ±4          | 20                   | 28       |
| N°50      | 0,30  | 0.00    | 0.0     | 0.04     | 0.01    | 32.7    | 16.0    | 16.0       | 13               | 21       | ±3          | 13                   | 21       |
| N°100     | 0,15  | 0.00    | 0.0     | 0.00     | 0.0     | 22.4    | 11.0    | 11         |                  |          |             |                      |          |
| N°200     | 0,075 | 0.00    | 0.0     | 0.00     | 0.0     | 10.1    | 4.9     | 4.9        | 3                | 8        | ±2          | 3                    | 8        |

Fuente: Elaboracion propia

Figura N°4. 1. Faja de trabajo



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. Primera Dosificación con 4,5% de contenido de Asfalto

En la dosificación se agregarán las mezclas asfálticas convencional y modificadas sin modificar el peso de los agregados.

Tabla N°4. 12. Dosificación cemento asfáltico 4,5%

| Tamiz                                 | % Pasa | % Retenido | % Retenido en tamiz | 4,50%        |                |
|---------------------------------------|--------|------------|---------------------|--------------|----------------|
|                                       |        |            |                     | Peso Parcial | Peso Acumulado |
| 1"                                    | 100,0  | 0,0        | 0,0                 | 0,0          | 0,0            |
| 3/4"                                  | 97,1   | 2,9        | 2,9                 | 33,6         | 33,6           |
| 1/2"                                  | 84,3   | 15,7       | 12,8                | 146,5        | 180,1          |
| 3/8"                                  | 78,2   | 21,8       | 6,1                 | 70,2         | 250,3          |
| N°4                                   | 53,6   | 46,4       | 24,5                | 280,9        | 531,2          |
| N°8                                   | 38,5   | 61,5       | 15,2                | 173,7        | 704,9          |
| N°16                                  | 30,7   | 69,3       | 7,8                 | 89,3         | 794,3          |
| N°30                                  | 23,3   | 76,7       | 7,4                 | 84,9         | 879,2          |
| N°50                                  | 16,0   | 84,0       | 7,2                 | 83,0         | 962,2          |
| N°100                                 | 11,0   | 89,0       | 5,0                 | 57,8         | 1020,0         |
| N°200                                 | 5,0    | 95,0       | 6,0                 | 68,8         | 1088,8         |
| Filler                                | 0,0    | 100,0      | 5,0                 | 57,2         | 1146,0         |
| <b>Peso total</b>                     |        |            |                     | <b>1146</b>  |                |
| <b>Numero de briquetas a realizar</b> |        |            |                     | <b>3</b>     |                |

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| <b>Peso muestra</b>        | <b>1146,0 gr</b> |
| <b>Peso asfalto (4,5%)</b> | <b>54,0 gr</b>   |
| <b>Peso total</b>          | <b>1200,0 gr</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3. Primera Dosificación con 5% de contenido de Asfalto

Tabla N°4. 13.Dosificación con cemento asfáltico de 5,0%

| Tamiz                                 | % Pasa | % Retenido | % Retenido en tamiz | 5,00%         |                |
|---------------------------------------|--------|------------|---------------------|---------------|----------------|
|                                       |        |            |                     | Peso Parcial  | Peso Acumulado |
| 1"                                    | 100,0  | 0,0        | 0,0                 | 0,0           | 0,0            |
| 3/4"                                  | 97,1   | 2,9        | 2,9                 | 33,4          | 33,4           |
| 1/2"                                  | 84,3   | 15,7       | 12,8                | 145,7         | 179,2          |
| 3/8"                                  | 78,2   | 21,8       | 6,1                 | 69,8          | 249,0          |
| N°4                                   | 53,6   | 46,4       | 24,5                | 279,4         | 528,4          |
| N°8                                   | 38,5   | 61,5       | 15,2                | 172,8         | 701,3          |
| N°16                                  | 30,7   | 69,3       | 7,8                 | 88,8          | 790,1          |
| N°30                                  | 23,3   | 76,7       | 7,4                 | 84,5          | 874,6          |
| N°50                                  | 16,0   | 84,0       | 7,2                 | 82,6          | 957,2          |
| N°100                                 | 11,0   | 89,0       | 5,0                 | 57,5          | 1014,6         |
| N°200                                 | 5,0    | 95,0       | 6,0                 | 68,5          | 1083,1         |
| Filler                                | 0,0    | 100,0      | 5,0                 | 56,9          | 1140,0         |
| <b>Peso total</b>                     |        |            |                     | <b>1140,0</b> |                |
| <b>Numero de briquetas a realizar</b> |        |            |                     | <b>3</b>      |                |

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| <b>Peso muestra</b>        | <b>1140,0 gr</b> |
| <b>Peso asfalto (5,0%)</b> | <b>60,0 gr</b>   |
| <b>Peso total</b>          | <b>1200,0 gr</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4. Primera Dosificación con 5,5% de contenido de Asfalto

Tabla N°4. 14.Dosificación con cemento asfáltico 5,5%

| Tamiz                                 | % Pasa | % Retenido | % Retenido en tamiz | 5,5%          |                |
|---------------------------------------|--------|------------|---------------------|---------------|----------------|
|                                       |        |            |                     | Peso Parcial  | Peso Acumulado |
| 1"                                    | 100,0  | 0,0        | 0,0                 | 0,0           | 0,0            |
| 3/4"                                  | 97,1   | 2,9        | 2,9                 | 33,3          | 33,3           |
| 1/2"                                  | 84,3   | 15,7       | 12,8                | 145,0         | 178,2          |
| 3/8"                                  | 78,2   | 21,8       | 6,1                 | 69,5          | 247,7          |
| N°4                                   | 53,6   | 46,4       | 24,5                | 278,0         | 525,7          |
| N°8                                   | 38,5   | 61,5       | 15,2                | 171,9         | 697,6          |
| N°16                                  | 30,7   | 69,3       | 7,8                 | 88,4          | 785,9          |
| N°30                                  | 23,3   | 76,7       | 7,4                 | 84,0          | 870,0          |
| N°50                                  | 16,0   | 84,0       | 7,2                 | 82,2          | 952,1          |
| N°100                                 | 11,0   | 89,0       | 5,0                 | 57,2          | 1009,3         |
| N°200                                 | 5,0    | 95,0       | 6,0                 | 68,1          | 1077,4         |
| Filler                                | 0,0    | 100,0      | 5,0                 | 56,6          | 1134,0         |
| <b>Peso total</b>                     |        |            |                     | <b>1134,0</b> |                |
| <b>Numero de briquetas a realizar</b> |        |            |                     | <b>3</b>      |                |

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| <b>Peso muestra</b>        | <b>1134,0 gr</b> |
| <b>Peso asfalto (5,5%)</b> | <b>66,0 gr</b>   |
| <b>Peso total</b>          | <b>1200,0 gr</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.5. Primera Dosificación con 6% de contenido de Asfalto

**Tabla N° 2 Dosificación con cemento asfáltico de 6%**

*Tabla N°4. 15.Dosificación con cemento asfáltico de 6,0%*

| Tamiz                                 | % Pasa | % Retenido | % Retenido en tamiz | 6,00%         |                |
|---------------------------------------|--------|------------|---------------------|---------------|----------------|
|                                       |        |            |                     | Peso Parcial  | Peso Acumulado |
| 1"                                    | 100,0  | 0,0        | 0,0                 | 0,0           | 0,0            |
| 3/4"                                  | 97,1   | 2,9        | 2,9                 | 33,1          | 33,1           |
| 1/2"                                  | 84,3   | 15,7       | 12,8                | 144,2         | 177,3          |
| 3/8"                                  | 78,2   | 21,8       | 6,1                 | 69,1          | 246,4          |
| N°4                                   | 53,6   | 46,4       | 24,5                | 276,5         | 522,9          |
| N°8                                   | 38,5   | 61,5       | 15,2                | 171,0         | 693,9          |
| N°16                                  | 30,7   | 69,3       | 7,8                 | 87,9          | 781,8          |
| N°30                                  | 23,3   | 76,7       | 7,4                 | 83,6          | 865,4          |
| N°50                                  | 16,0   | 84,0       | 7,2                 | 81,7          | 947,1          |
| N°100                                 | 11,0   | 89,0       | 5,0                 | 56,9          | 1003,9         |
| N°200                                 | 5,0    | 95,0       | 6,0                 | 67,8          | 1071,7         |
| Filler                                | 0,0    | 100,0      | 5,0                 | 56,3          | 1128,0         |
| <b>Peso total</b>                     |        |            |                     | <b>1128,0</b> |                |
| <b>Numero de briquetas a realizar</b> |        |            |                     | <b>3</b>      |                |

|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| <b>Peso muestra</b>               | <b>1128,0 gr</b> |
| <b>Peso asfalto 85-100 (6,0%)</b> | <b>72,0 gr</b>   |
| <b>Peso total</b>                 | <b>1200,0 gr</b> |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.6. Primera Dosificación con 6,5% de contenido de Asfalto

Tabla N°4. 16.Dosificación con cemento asfáltico de 6,5%

| Tamiz                                 | % Pasa | % Retenido | % Retenido en tamiz | 6,5 %         |                |
|---------------------------------------|--------|------------|---------------------|---------------|----------------|
|                                       |        |            |                     | Peso Parcial  | Peso Acumulado |
| 1"                                    | 100,0  | 0,0        | 0,0                 | 0,0           | 0,0            |
| 3/4"                                  | 97,1   | 2,9        | 2,9                 | 32,9          | 32,9           |
| 1/2"                                  | 84,3   | 15,7       | 12,8                | 143,4         | 176,3          |
| 3/8"                                  | 78,2   | 21,8       | 6,1                 | 68,7          | 245,1          |
| N°4                                   | 53,6   | 46,4       | 24,5                | 275,0         | 520,1          |
| N°8                                   | 38,5   | 61,5       | 15,2                | 170,1         | 690,2          |
| N°16                                  | 30,7   | 69,3       | 7,8                 | 87,4          | 777,6          |
| N°30                                  | 23,3   | 76,7       | 7,4                 | 83,1          | 860,8          |
| N°50                                  | 16,0   | 84,0       | 7,2                 | 81,3          | 942,1          |
| N°100                                 | 11,0   | 89,0       | 5,0                 | 56,5          | 998,6          |
| N°200                                 | 5,0    | 95,0       | 6,0                 | 67,4          | 1066,0         |
| Filler                                | 0,0    | 100,0      | 5,0                 | 56,0          | 1122,0         |
| <b>Peso total</b>                     |        |            |                     | <b>1122,0</b> |                |
| <b>Numero de briquetas a realizar</b> |        |            |                     | <b>3</b>      |                |

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| <b>Peso muestra</b>        | <b>1122,0 gr</b> |
| <b>Peso asfalto (6,5%)</b> | <b>78,0 gr</b>   |
| <b>Peso total</b>          | <b>1200,0 gr</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.7. Primera Dosificación con 7% de contenido de Asfalto

Tabla N°4. 17.Dosificación con cemento asfáltico de 7%

| Tamiz                                 | % Pasa | % Retenido | % Retenido en tamiz | 7,00%         |                |
|---------------------------------------|--------|------------|---------------------|---------------|----------------|
|                                       |        |            |                     | Peso Parcial  | Peso Acumulado |
| 1"                                    | 100,0  | 0,0        | 0,0                 | 0,0           | 0,0            |
| 3/4"                                  | 97,1   | 2,9        | 2,9                 | 32,7          | 32,7           |
| 1/2"                                  | 84,3   | 15,7       | 12,8                | 142,7         | 175,4          |
| 3/8"                                  | 78,2   | 21,8       | 6,1                 | 68,4          | 243,8          |
| N°4                                   | 53,6   | 46,4       | 24,5                | 273,5         | 517,3          |
| N°8                                   | 38,5   | 61,5       | 15,2                | 169,2         | 686,5          |
| N°16                                  | 30,7   | 69,3       | 7,8                 | 87,0          | 773,5          |
| N°30                                  | 23,3   | 76,7       | 7,4                 | 82,7          | 856,2          |
| N°50                                  | 16,0   | 84,0       | 7,2                 | 80,9          | 937,0          |
| N°100                                 | 11,0   | 89,0       | 5,0                 | 56,2          | 993,3          |
| N°200                                 | 5,0    | 95,0       | 6,0                 | 67,0          | 1060,3         |
| Filler                                | 0,0    | 100,0      | 5,0                 | 55,7          | 1116,0         |
| <b>Peso total</b>                     |        |            |                     | <b>1116,0</b> |                |
| <b>Numero de briquetas a realizar</b> |        |            |                     | <b>3</b>      |                |

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| <b>Peso muestra</b>      | <b>1116,0 gr</b> |
| <b>Peso asfalto (7%)</b> | <b>84,0 gr</b>   |
| <b>Peso total</b>        | <b>1200,0 gr</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. Desarrollo de la elaboración de Briquetas, Asfalto convencional y modificado con SBS y SBR.

##### Equipo:

Martillo de compactación

Dispositivo para moldear probetas

Extractor de probetas

Balanza con sensibilidad de 0,1gr

Bandejas metálicas

Placa de calentamiento

Termómetro

Espátula

Medidor de la estabilidad

Mezcla de la estabilidad

Mezcla de agregados

Asfalto 85-100

Asfalto modificado con SBS

*Figura N°4. 2.Material a utilizar*



*Fuente: Elaboración propia*

### **Procedimiento del Ensayo:**

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 calculando para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 175 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.

*Figura N°4. 3.Pesaje de los agregados y asfalto*



*Fuente: Elaboración propia*

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 calculando para un porcentaje de la mezcla total.

*Figura N°4. 4.Agregando mezcla modificado al agregado*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°4. 5. Mezcla de agregado y asfalto modificado*



*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 130°C ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

*Figura N°4. 6.Lubricando los moldes antes de calentar*



*Fuente: Elaboración propia*

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

*Figura N°4. 7.Introduciendo la mezcla asfáltica a los moldes*



*Fuente: Elaboración propia*

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectada para vías de tráfico pesado y se fabricaron 18 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un extractor hidráulico.

*Figura N°4. 8. Compactado las briquetas asfalto convencional*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°4. 9. Compactando briquetas, asfalto modificado.*



*Fuente: Elaboración propia*

Una vez compactado las briquetas se deberán enfriar los moldes con la muestra por un tiempo de 30 min antes de ser extracción.

*Figura N°4. 10. Extractor hidráulico*



*Fuente: Elaboración propia*

Se deberá dejar enfriar a temperatura ambiente con su respectiva identificación.

*Figura N°4. 11. Asignando una identificación a las muestras*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.4. Ensayo de Marshall**

Una vez extraído las briquetas de los moldes se proceden a realizar el ensayo de flujo y estabilidad en la prensa.

Primero se debe 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.

Antes de realizar el ensayo las muestras deben ser sumergidas en baño maría de agua a  $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas, la temperatura de las mismas se debe mantener entre  $21^{\circ}\text{C}$  y  $38^{\circ}\text{C}$ . 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 es 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 50,8 mm por minuto ( $2''/\text{minuto}$ ) hasta que se produzca 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 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°4. 12. Muestra sometido a baño María*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°4. 13. Ensayo Marshall, estabilidad y fluencia*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.5. Proceso de cálculo de propiedades mecánicas en mezclas asfálticas convencional y modificadas con SBS y SBR.**

Para un mejor entendimiento se desarrollará el ensayo de una briqueta convencional y modificado paso a paso, al concluir se adjuntará la tabla de resumen.

#### 4.5.1. Briquetas

Para la identificación de las briquetas se les asignó un código con el número de porcentaje, de cada briqueta.

*Tabla N°4. 18. Identificación de las briquetas*

|                         |      |    |
|-------------------------|------|----|
| Asfalto<br>convencional | 4,5% | A1 |
|                         |      | A2 |
|                         |      | A3 |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.5.2. Altura de las briquetas

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4,5 sus alturas correspondientes son las siguientes:

*Figura N°4. 14. Altura de las briquetas*



*Figura: Elaboración propia*

*Figura N°4. 15. Peso seco de la briqueta*



*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°4. 19. Altura media de cada briqueta*

| <b>Identificación</b> | <b>Alturas (cm)</b> |
|-----------------------|---------------------|
| A1                    | 6.43                |
| A1                    | 6.45                |
| A1                    | 6.35                |

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.5.3. Base de mezcla y agregado**

Para la base de mezcla se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4,5%

Mientras que para la base de agregado se realiza el siguiente procedimiento de cálculo.

$$\text{Base del agregado} = \frac{\text{Base de la mezcla} * 100}{100 - \text{Base de la mezcla}}$$

$$\text{Base del agregado} = \frac{4.50 * 100}{100 - 4.50}$$

$$\text{Base del agregado} = 4.71$$

#### **4.5.4. Peso de briqueta en el aire**

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

*Tabla N°4. 20. Peso al aire de las briquetas*

| <b>Identificación</b> | <b>Peso briqueta al aire (gr)</b> |
|-----------------------|-----------------------------------|
| A1                    | 1187.0                            |
| A2                    | 1190.0                            |
| A3                    | 1188.7                            |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.5.5. Peso de briqueta en el aire saturado y superficialmente seco (S.S.S.)

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

*Tabla N°4. 21.Peso briqueta superficialmente seca*

| Identificación | Alturas (cm) |
|----------------|--------------|
| A1             | 1193.2       |
| A2             | 1195.5       |
| A3             | 1195.0       |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.5.6. Peso de briqueta sumergida en el agua

El peso de la briqueta sumergida en agua consiste en medir su peso una vez transcurrido 30 minutos sumergida en agua a 25°C.

*Tabla N°4. 22.Peso briqueta sumergida en agua*

| Identificación | Alturas (cm) |
|----------------|--------------|
| A1             | 678.0        |
| A2             | 680.7        |
| A3             | 677.7        |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.5.7. Volumen de briqueta

Para este proceso de cálculo se lo realiza para la briqueta identificada como A1.

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

$$\text{Vol. briqueta} = 1193.2 - 678.5$$

$$\text{Vol. briqueta} = 515.2 \text{ cm}^3$$

Debido a que el peso es del agua y su peso específico es 1gr/cm<sup>3</sup> se considera:

$$\text{Volumen de briqueta} = 515,7 \text{ cm}^3$$

#### 4.5.8. Densidad de la briqueta

Para este proceso de cálculo se lo realizara para la briqueta identificada como A1

##### 4.5.8.1.Densidad real

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

$$\text{Densidad real} = \frac{1187.0}{515.7}$$

$$\text{Densidad real} = 2.304\text{kg/cm}^3$$

##### 4.5.8.2.Densidad máxima teórica de la briqueta

$$D_{\text{maxT}} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{asfalto}}{\text{Peso esp asf}}\right) + \left(\frac{100 - \% \text{asf}}{\text{Peso esp agr grueso}}\right)}$$

$$D_{\text{maxT}} = \frac{100}{\left(\frac{4.5}{1.011}\right) + \left(\frac{100 - 4.5}{2.687}\right)}$$

$$D_{\text{maxT}} = 2.493\text{kg/cm}^3$$

#### 4.5.9. Porcentaje de vacíos

Para este proceso de cálculo se lo realiza para la briqueta identificada como A1

##### 4.5.9.1. Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$V_v = \left(\frac{D_{\text{maxT}} - \text{Dens prom}}{D_{\text{maxT}}}\right) * 100$$

$$V_v = \left(\frac{2.493 - 2.304}{2.493}\right) * 100$$

$$V_v = 7.55\%$$

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

$$VAM = \left( \frac{\% \text{ de asf} * \text{Dens prom}}{\text{Peso esp del asf}} \right) + Vv$$

$$VAM = \left( \frac{4.5 * 2.313}{1.005} \right) + 7.27\%$$

$$VAM = 17.87\%$$

#### 4.5.9.3. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.)

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

$$RBV = \left( \frac{17.87 - 7.55}{17.87} \right) * 100$$

$$RBV = 57.74\%$$

#### 4.5.10. Estabilidad y Fluencia

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

*Tabla N°4. 23.Estabilidad y fluencia*

| Identificación | Lectura Dial |          |
|----------------|--------------|----------|
|                | Estabilidad  | Fluencia |
| A1             | 997          | 180.0    |
| A2             | 1119         | 200.0    |
| A3             | 1012         | 215.0    |

*Fuente: Elaboración propia*

Se procede a realizar una corrección de calibración de la prensa Marshall mediante la siguiente formula:

Estabilidad Real = Lector dial\* Factor de Unidad

Lect. Dial = Es la lectura medida en la prensa Marshall

Tabla N°4. 24.Estabilidad real

| Identificación | Lectura (lb) |        |          |
|----------------|--------------|--------|----------|
|                | Estabilidad  | Real   | Promedio |
| A1             | 1000         | 2198.0 | 2298.7   |
| A2             | 1122         | 2466.9 |          |
| A3             | 1015         | 2231.1 |          |

Fuente: Elaboración propia

Después del cálculo de estabilidad real se procederá corregir por la altura de la briqueta con la siguiente formula:

Estabilidad Corregida = Estabilidad\*Factor Corrección de Altura

Donde:

Factor Corrección Altura = Es el factor de corrección de acuerdo a la altura de la briqueta según el método Marshall cuando la altura es diferente de 63,43 cm.

Tabla N°4. 25.Altura promedio y factor de corrección por altura

| Identificación | Promedio de altura (cm) | Factor de corrección por altura | Promedio del factor de corrección |
|----------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| A1             | 6,43                    | 0,980                           | 0,985                             |
| A2             | 6,45                    | 0,975                           |                                   |
| A3             | 6,35                    | 1,0000                          |                                   |

Fuente: Manual de la ABC vol. 4 tabla A0608\_1Factor de Corrección por altura para estabilidad Marshall (Normativa AASTHO)

Tabla N°4. 26.Estabilidad corregida

| Identificación | Estabilidad real promedio (lb) | Promedio del factor de corrección | Estabilidad corregida (lb) |
|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| A1             | 2298,7                         | 0,985                             | 2264,2                     |
| A2             |                                |                                   |                            |
| A3             |                                |                                   |                            |

Fuente: Elaboración propia

Para la corrección de la fluencia medida en la prensa Marshall se realiza:

$$\text{Fluencia} = \frac{\text{Lectura dial}}{25.4}$$

*Tabla N°4. 27. Corrección de fluencia*

| Identificación | Lectura dial    | Fluencia 1/100 | Promedio |
|----------------|-----------------|----------------|----------|
|                | Fluencia (plg.) |                |          |
| A1             | 180             | 7,1            | 7,81     |
| A2             | 200             | 7,9            |          |
| A3             | 215             | 8,5            |          |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N°4. 28. Resultado de la estabilidad y fluencia*

| Identificación | Estabilidad |          | Fluencia |          |
|----------------|-------------|----------|----------|----------|
|                | Real        | Promedio | 1/100    | Promedio |
| A1             | 2198,0      | 2264,2   | 7,1      | 7,81     |
| A2             | 2466,9      |          | 7,9      |          |
| A3             | 2231,1      |          | 8,5      |          |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.6. Resultados, diseño de mezclas asfálticas convencional

A continuación, se muestra las planillas de resultados

Tabla N°4. 29.Resultado del diseño de la mezcla asfáltica convencional

| % de Asfalto | Identificación | Altura promedio (cm) | Densidad real promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | % Vacíos en la mezcla (Vv) | % Vacíos de agregado (VAM) | % Vacíos llenos de asfalto (RBV) | Estabilidad corregida promedio (lb) | Fluencia promedio 1/100 |
|--------------|----------------|----------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 4,5          | A1             | 6,43                 | 2,304  | 7,55                       | 17,87                      | 57,74                            | 2264,2                              | 7,81                    |
|              | A2             | 6,45                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A3             | 6,35                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 5,0          | A4             | 6,33                 | 2,327  | 5,92                       | 17,49                      | 66,18                            | 2461,6                              | 9,45                    |
|              | A5             | 6,39                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A6             | 6,31                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 5,5          | A7             | 6,35                 | 2,346  | 4,43                       | 17,27                      | 74,34                            | 2733,4                              | 11,22                   |
|              | A8             | 6,33                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A9             | 6,40                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 6,0          | A10            | 6,31                 | 2,354  | 3,38                       | 17,43                      | 80,63                            | 2786,5                              | 13,98                   |
|              | A11            | 6,25                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A12            | 6,40                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 6,6          | A13            | 6,33                 | 2,345  | 3,01                       | 18,18                      | 83,42                            | 2561,0                              | 15,16                   |
|              | A14            | 6,37                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A15            | 6,37                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 7,0          | A16            | 6,32                 | 2,339  | 2,54                       | 18,83                      | 86,53                            | 2357,3                              | 16,86                   |
|              | A17            | 6,35                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A18            | 6,33                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |

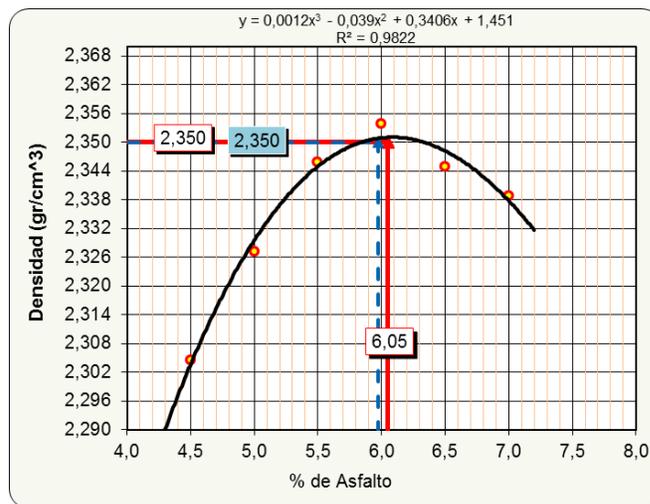
Fuente: Elaboración propia

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

- Porcentaje de asfalto vs. densidad de la briqueta

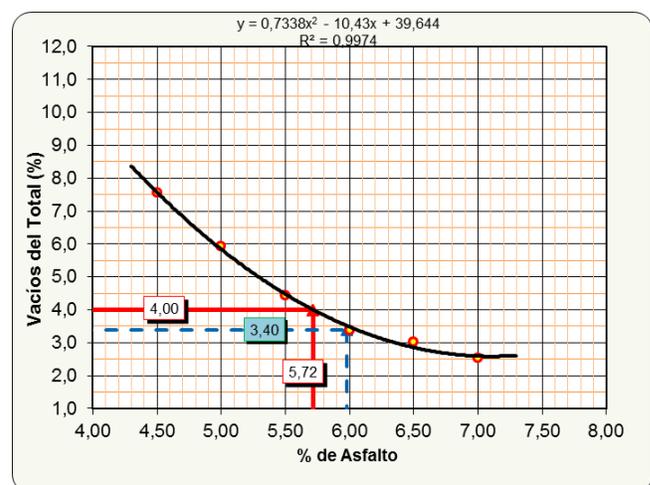
- Porcentaje de asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)
- Porcentaje de asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)
- Porcentaje de asfalto vs. estabilidad corregida
- Porcentaje de asfalto vs. fluencia

Figura N°4. 16. Porcentaje de asfalto vs densidad



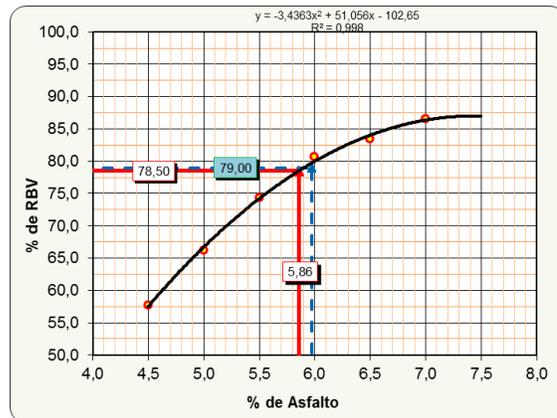
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 17. Porcentaje de asfalto vs vacíos totales



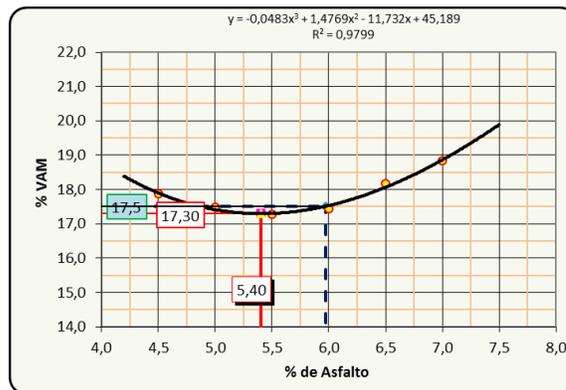
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 18. Porcentaje de asfalto vs RBV



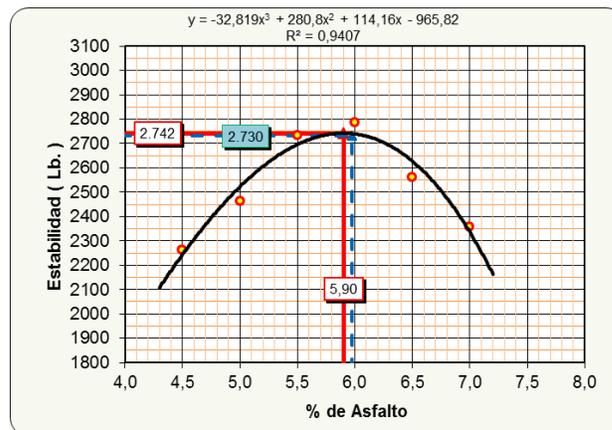
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 19. Porentaje de asfalto vs VAM



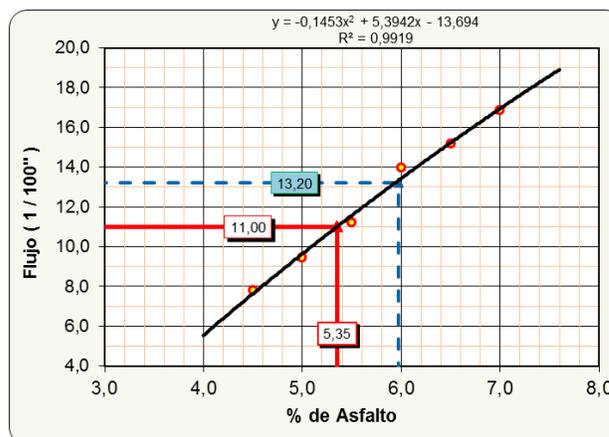
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 20. Porcentaje de asfalto vs estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 21. Porcentaje de asfalto vs fluencia



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N°4. 30. Resultado del diseño de la mezcla asfáltica convencional

| Valores         |              |  |                           |    |
|-----------------|--------------|--|---------------------------|----|
| Características | % de asfalto | Obtenidos de gráficos  | Especificaciones técnicas |    |
| Densidad        | 6,05         | 2,35   | **                        | ** |
| Estabilidad     | 6,59         | 2742   | >1500 lb                  |    |
| VAM             | 5,86         | 17,3   | 15                        |    |
| Promedio (%)    | 5,98         | Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las graficas |                           |    |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 31. Resultado del diseño óptimo de la mezcla asfáltica convencional

| Valores obtenidos diseño Marshall |              |                       |                           |    |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|----|
| Características                   | % de asfalto | Obtenidos de gráficos | Especificaciones técnicas |    |
| Densidad                          | 5,98         | 2,4                   | **                        | ** |
| % vacíos                          | 5,98         | 3,4                   | 3                         | 5  |
| RBV                               | 5,98         | 79,0                  | 75                        | 85 |
| VAM                               | 5,98         | 17,5                  | 15                        |    |
| Estabilidad                       | 5,98         | 2730,0                | >1500 lb                  |    |
| Fluencia                          | 5,98         | 13,2                  | 8                         | 14 |
| % Optimo de asfalto propuesto     |              |                       | 6,0                       |    |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.1. Tratamiento estadístico para asfalto convencional

Tabla N°4. 32.Tratamiento estadístico asfalto convencional

| N° Muestras                    | %<br>Optimo<br>de<br>Asfalto | Densidad<br>(Grs/cm3) | Estabilidad<br>(Libras) | Flujo<br>(1/100plg) | % Vacíos<br>(%) | % V.A.M.<br>(%) | % R.B.V.<br>(%) |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1                              | 5,98                         | 2,34                  | 2720                    | 13,1                | 3,39            | 17,6            | 79,1            |
| 2                              | 5,98                         | 2,35                  | 2735                    | 13,35               | 3,4             | 17,5            | 80,1            |
| 3                              | 5,98                         | 2,33                  | 2730                    | 12,9                | 3,5             | 17,4            | 80,2            |
| 4                              | 5,98                         | 2,36                  | 2740                    | 12,8                | 3,44            | 17,1            | 79              |
| 5                              | 5,98                         | 2,35                  | 2735                    | 13,3                | 3,55            | 17,7            | 78,9            |
| 6                              | 5,98                         | 2,33                  | 2740                    | 13,5                | 3,6             | 17,8            | 78,8            |
| 7                              | 5,98                         | 2,32                  | 2700                    | 12,7                | 3,2             | 17,2            | 80,1            |
| 8                              | 5,98                         | 2,35                  | 2750                    | 12,8                | 3,5             | 17,5            | 80,2            |
| 9                              | 5,98                         | 2,33                  | 2720                    | 13,5                | 3,44            | 17,6            | 79,1            |
| 10                             | 5,98                         | 2,34                  | 2695                    | 13,2                | 3,52            | 17,5            | 80,1            |
| 11                             | 5,98                         | 2,34                  | 2780                    | 13,1                | 3,6             | 17,4            | 80,2            |
| 12                             | 5,98                         | 2,36                  | 2710                    | 13,05               | 3,1             | 17,1            | 79              |
| 13                             | 5,98                         | 2,34                  | 2685                    | 13,1                | 3,4             | 17,7            | 78,9            |
| 14                             | 5,98                         | 2,32                  | 2750                    | 13,6                | 3,2             | 17,8            | 78,8            |
| 15                             | 5,98                         | 2,31                  | 2730                    | 12,9                | 3,4             | 17,2            | 80,1            |
| Máximo                         |                              | 2,36                  | 2780                    | 13,6                | 3,6             | 17,8            | 80,2            |
| Mínimo                         |                              | 2,31                  | 2685                    | 12,7                | 3,1             | 17,1            | 78,8            |
| Promedio                       |                              | 2,34                  | 2728,00                 | 13,13               | 3,42            | 17,47           | 79,51           |
| Mediana                        |                              | 2,34                  | 2730,00                 | 13,10               | 3,44            | 17,50           | 79,10           |
| Moda                           |                              | 2,34                  | 2720,00                 | 13,10               | 3,40            | 17,50           | 80,10           |
| Varianza                       |                              | 0,00                  | 588,57                  | 0,08                | 0,02            | 0,06            | 0,39            |
| Desviación                     |                              | 0,01                  | 24,26                   | 0,28                | 0,15            | 0,24            | 0,62            |
| Coeficiente de variación       |                              | 0,6303                | 0,8893                  | 2,1299              | 4,3305          | 1,3589          | 0,7833          |
| Datos no dispersos, homogéneos |                              |                       |                         |                     |                 |                 |                 |
| Confianza                      |                              |                       |                         |                     |                 |                 |                 |
| 95%                            |                              | 1,96                  | 1,96                    | 1,96                | 1,96            | 1,96            | 1,96            |
| Limite Inf                     |                              | 2,35                  | 2740,71                 | 13,27               | 3,49            | 17,60           | 79,83           |
| Limite Sup                     |                              | 2,33                  | 2715,29                 | 12,98               | 3,34            | 17,35           | 79,18           |
| Resultado                      |                              | <b>2,34</b>           | <b>2728,00</b>          | <b>13,13</b>        | <b>3,42</b>     | <b>17,47</b>    | <b>79,51</b>    |

Fuente: Elaboración propia

*Figura N°4. 22.Muestras para estadística*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.7. Resultados, diseño de la mezcla asfáltica modificada con SBS

A continuación, se muestra las planillas de resultados:

*Tabla N°4. 33.Resultado del diseño de la mezcla asfáltica modificada con SBS*

| % de Asfalto | Identificación | Altura promedio (cm) | Densidad Real promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | % Vacíos en la mezcla (Vv) | % Vacíos de agregado (VAM) | % Vacíos llenos de asfalto (RBV) | Estabilidad corregida promedio (lb) | Fluencia promedio 1/100 |
|--------------|----------------|----------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 4,5          | A1             | 6,59                 | 2,297  | 7,85                       | 18,15                      | 56,77                            | 2620,1                              | 11,81                   |
|              | A2             | 6,57                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A3             | 6,58                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 5,0          | A4             | 6,52                 | 2,326  | 5,94                       | 17,54                      | 66,11                            | 3281,2                              | 15,49                   |
|              | A5             | 6,62                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A6             | 6,59                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 5,5          | A7             | 6,50                 | 2,351  | 4,20                       | 17,09                      | 75,43                            | 3802,9                              | 17,72                   |
|              | A8             | 6,43                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A9             | 6,36                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 6,0          | A10            | 6,35                 | 2,353  | 3,38                       | 17,46                      | 80,63                            | 3792,2                              | 20,60                   |
|              | A11            | 6,44                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A12            | 6,41                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 6,5          | A13            | 6,44                 | 2,351  | 2,72                       | 17,96                      | 84,86                            | 3408,2                              | 22,60                   |
|              | A14            | 6,40                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A15            | 6,42                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 7,0          | A16            | 6,36                 | 2,341  | 2,43                       | 18,77                      | 87,05                            | 2933,5                              | 25,33                   |
|              | A17            | 6,40                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A18            | 6,38                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |

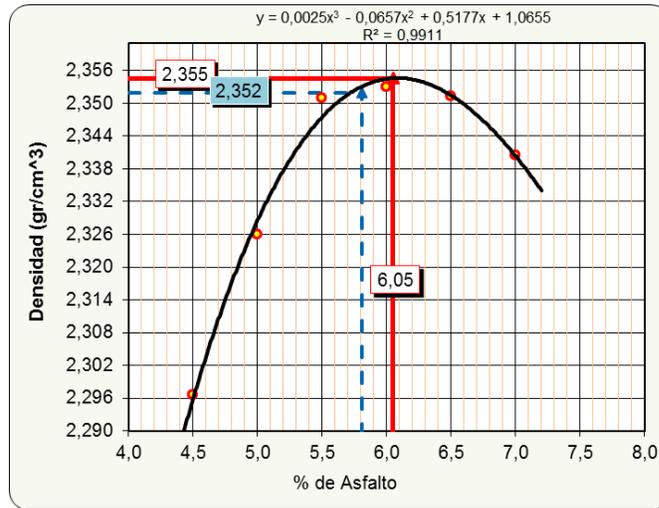
*Fuente: Elaboración propia*

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

- Porcentaje de asfalto vs. densidad de la briqueta

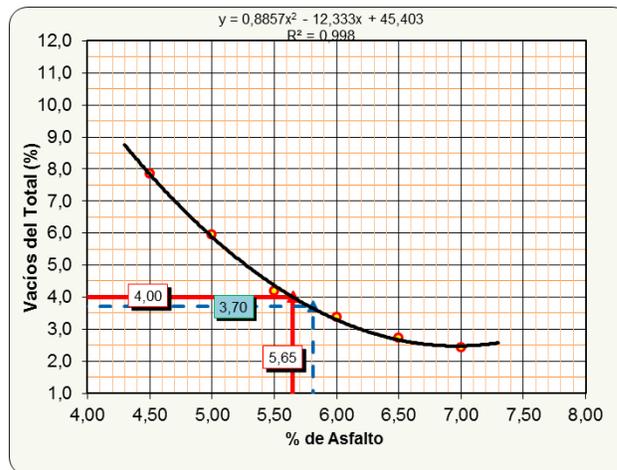
- Porcentaje de asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)
- Porcentaje de asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV)
- Porcentaje de asfalto vs. estabilidad corregida
- Porcentaje de asfalto vs. fluencia

Figura N°4. 23. Porcentaje de asfalto vs densidad



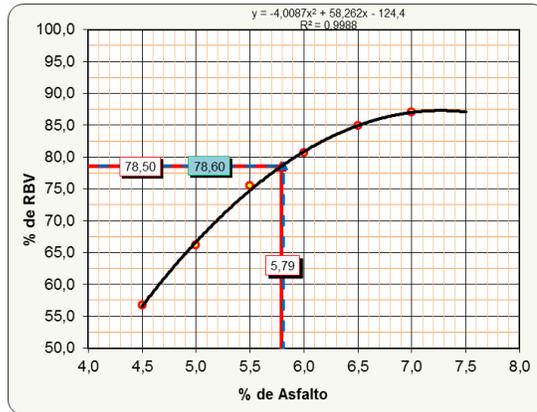
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 24. Porcentaje de asfalto vs vacios totales



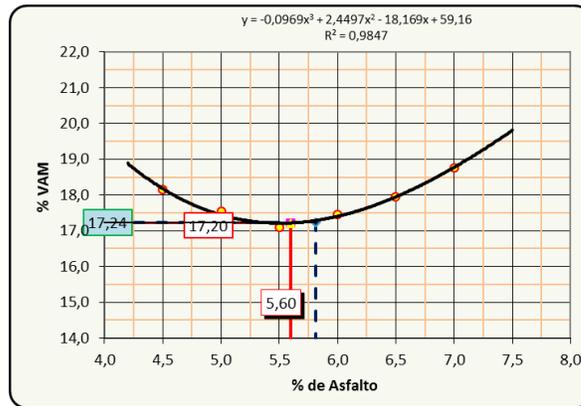
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 25. Porcentaje de asfalto vs RBV



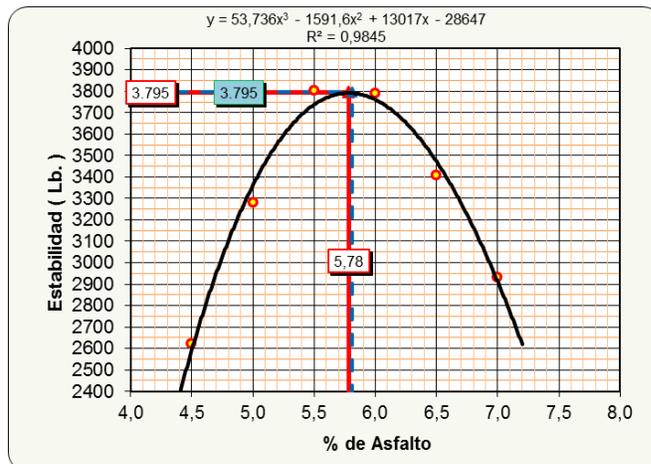
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 26. Porcentaje de asfalto vs VAM



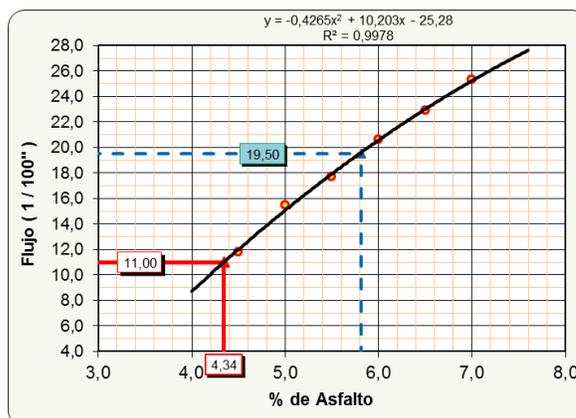
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 27. Porcentaje de asfalto vs estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 28. Porcentaje de asfalto vs fluencia



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N°4. 34. Resultado del diseño de la mezcla asfáltica modificada con SBS

| Valores         |              |  |                           |    |
|-----------------|--------------|--|---------------------------|----|
| Características | % de asfalto | Obtenidos de gráficos  | Especificaciones técnicas |    |
| Densidad        | 6,05         | 2,35   | **                        | ** |
| Estabilidad     | 5,78         | 3794,9   | >1500 lb                  |    |
| VAM             | 5,6          | 22,3   | 15                        |    |
| Promedio (%)    | 5,81         | Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las graficas |                           |    |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 35. Resultado de diseño óptimo, mezcla asfáltica modificada con SBS

| Valores obtenidos diseño Marshall |              |                       |                           |    |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|----|
| Características                   | % de asfalto | Obtenidos de gráficos | Especificaciones técnicas |    |
| Densidad                          | 5,81         | 2,4                   | **                        | ** |
| % vacíos                          | 5,81         | 3,7                   | 3                         | 5  |
| RBV                               | 5,81         | 78,6                  | 75                        | 85 |
| VAM                               | 5,81         | 17,2                  | 15                        |    |
| Estabilidad                       | 5,81         | 3795,0                | >1500 lb                  |    |
| Fluencia                          | 5,81         | 19,5                  | 8                         | 14 |
| % Óptimo de asfalto propuesto     |              |                       | 5,8                       |    |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.1. Tratamiento estadístico para Asfalto modificado con SBS

Tabla N°4. 36. Tratamiento estadístico asfalto modificado SBS

| N° Muestras                    | % Optimo de Asfalto | Densidad (Grs/cm3) | Estabilidad (Libras) | Flujo (1/100plg) | % Vacíos (%) | % V.A.M. (%) | % R.B.V. (%) |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1                              | 5,81                | 2,34               | 3798                 | 19,4             | 3,6          | 17,1         | 78,2         |
| 2                              | 5,81                | 2,35               | 3810                 | 19,5             | 3,5          | 17,3         | 78,3         |
| 3                              | 5,81                | 2,32               | 3801                 | 19,6             | 3,7          | 17,25        | 78,1         |
| 4                              | 5,81                | 2,33               | 3780                 | 19,5             | 3,5          | 17,2         | 78           |
| 5                              | 5,81                | 2,34               | 3760                 | 19,4             | 3,6          | 17,21        | 78,5         |
| 6                              | 5,81                | 2,35               | 3750                 | 19,3             | 3,9          | 17,29        | 78,4         |
| 7                              | 5,81                | 2,36               | 3740                 | 19,8             | 3,4          | 17,1         | 78,6         |
| 8                              | 5,81                | 2,37               | 3645                 | 19,4             | 3,5          | 17,15        | 78,6         |
| 9                              | 5,81                | 2,355              | 3842                 | 19,5             | 3,4          | 17,3         | 78,2         |
| 10                             | 5,81                | 2,34               | 3810                 | 19,4             | 3,6          | 17,1         | 78,3         |
| 11                             | 5,81                | 2,38               | 3810                 | 19,5             | 3,5          | 17,3         | 78,1         |
| 12                             | 5,81                | 2,36               | 3770                 | 19,6             | 3,7          | 17,25        | 78,4         |
| 13                             | 5,81                | 2,35               | 3780                 | 19,5             | 3,5          | 17,2         | 78,5         |
| 14                             | 5,81                | 2,34               | 3760                 | 19,4             | 3,6          | 17,21        | 78,4         |
| 15                             | 5,81                | 2,35               | 3795                 | 19,3             | 3,9          | 17,29        | 78,6         |
| Máximo                         |                     | 2,38               | 3842                 | 19,8             | 3,9          | 17,3         | 78,6         |
| Mínimo                         |                     | 2,32               | 3645                 | 19,3             | 3,4          | 17,1         | 78           |
| Promedio                       |                     | 2,35               | 3776,73              | 19,47            | 3,59         | 17,22        | 78,35        |
| Mediana                        |                     | 2,35               | 3780,00              | 19,50            | 3,60         | 17,21        | 78,40        |
| Moda                           |                     | 2,34               | 3810,00              | 19,40            | 3,50         | 17,10        | 78,40        |
| Varianza                       |                     | 0,00               | 2071,35              | 0,02             | 0,02         | 0,01         | 0,04         |
| Desviación Estándar            |                     | 0,02               | 45,51                | 0,13             | 0,15         | 0,08         | 0,20         |
| Coefficiente de variación      |                     | 0,64               | 1,21                 | 0,66             | 4,27         | 0,44         | 0,25         |
| Datos no dispersos, homogéneos |                     |                    |                      |                  |              |              |              |
| Confianza 95%                  |                     | 1,96               | 1,96                 | 1,96             | 1,96         | 1,96         | 1,96         |
| Limit Inf                      |                     | 2,36               | 3800,57              | 19,54            | 3,67         | 17,26        | 78,45        |
| Limit Sup                      |                     | 2,34               | 3752,89              | 19,41            | 3,51         | 17,18        | 78,24        |
| <b>Resultado</b>               |                     | <b>2,35</b>        | <b>3776,73</b>       | <b>19,47</b>     | <b>3,59</b>  | <b>17,22</b> | <b>78,35</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8. Resultados del Diseño de la Mezcla Asfáltica modificado con SBR

Para obtener el contenido de cemento asfáltico modificado con Caucho SBR se realizó a distintos % de 10, 15, 20 y 25 de SBR. Teniendo conocimiento que el peso específico del asfalto modificado está en relación con el % de vacíos y la altura de las briquetas para el uso de corrección por altura en estabilidad. Conociendo esta información se realiza a calcular la resistencia (estabilidad) y deformación (fluencia). Como investigador daré preferencia a la resistencia y deformación de la mezcla modificada, el asfalto máximo esperado se procederá al cálculo del % de vacío, si los resultados están dentro de los rangos esperados la investigación será válido, si los resultados en % de vacíos salen de los limites entonces se hará un estudio sobre la influencia de las variables en el resultado.

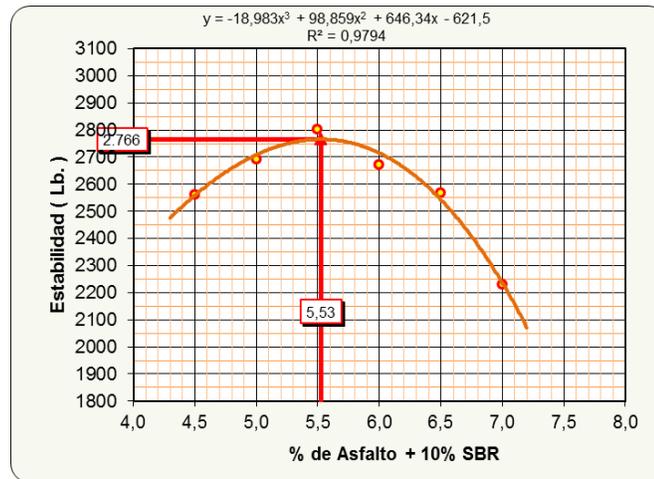
##### 4.8.1. Resultado del diseño de mezcla asfáltica modificada con 10% de SBR

Tabla N°4. 37.Resultado Marshall asfalto modificado 10% SBR

| % de Asfalto | Identificación | Altura promedio (cm) | Estabilidad Corregida Promedio (lb) | Fluencia 1/100 Promedio |
|--------------|----------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 4,5          | A1             | 6,48                 | 2561,8                              | 9,19                    |
|              | A2             | 6,50                 |                                     |                         |
|              | A3             | 6,52                 |                                     |                         |
| 5,0          | A4             | 6,53                 | 2692,8                              | 10,70                   |
|              | A5             | 6,55                 |                                     |                         |
|              | A6             | 6,56                 |                                     |                         |
| 5,5          | A7             | 6,52                 | 2802,5                              | 12,34                   |
|              | A8             | 6,54                 |                                     |                         |
|              | A9             | 6,52                 |                                     |                         |
| 6,0          | A10            | 6,48                 | 2673,1                              | 14,37                   |
|              | A11            | 6,55                 |                                     |                         |
|              | A12            | 6,57                 |                                     |                         |
| 6,5          | A13            | 6,58                 | 2566,7                              | 14,90                   |
|              | A14            | 6,55                 |                                     |                         |
|              | A15            | 6,51                 |                                     |                         |
| 7,0          | A16            | 6,52                 | 2230,5                              | 20,80                   |
|              | A17            | 6,54                 |                                     |                         |
|              | A18            | 6,58                 |                                     |                         |

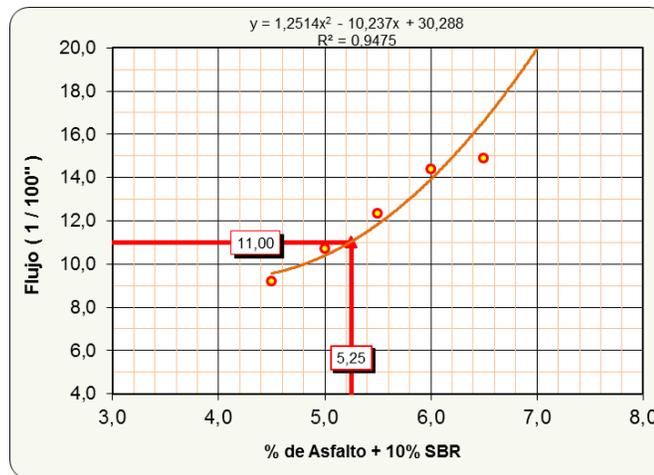
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 29. Porcentaje de asfalto modificado al 10% SBR vs estabilidad



Fuente: Elaboracion propia

Figura N°4. 30. Porcentaje de asfalto modificado 10% SBR vs fluencia



Fuente: Elaboracion propia

Tabla N°4. 38. % óptimo de asfalto modificado con 10% SBR

| Valores obtenidos diseño Marshall |              |                       |                           |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|
| Características                   | % de asfalto | Obtenidos de gráficos | Especificaciones técnicas |
| Estabilidad                       | 5,53         | 2766,0                | >1500 lb                  |
| Fluencia                          | 5,25         | 11,0                  | 8   14                    |
| % Óptimo de asfalto propuesto     |              |                       | 5,53                      |

Fuente: Elaboración propia

En los diseños de 10% de Caucho en mezclas asfálticas se presentó una mejora de 5.62% en la estabilidad y una reducción en la deformación con 6.96% tomando como referencia el asfalto convencional óptimo.

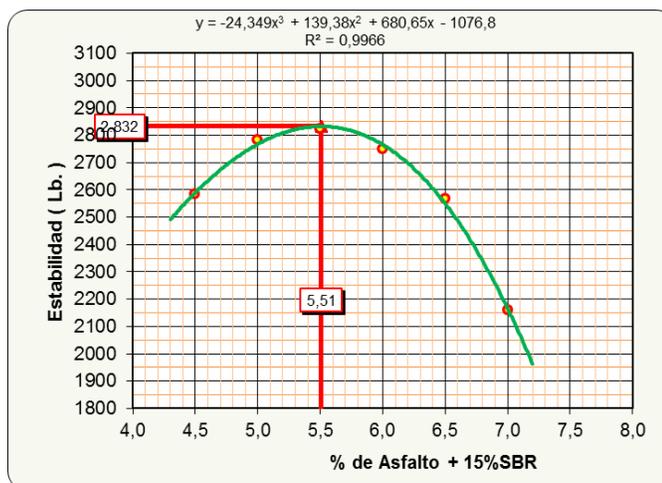
#### 4.8.2. Resultado, diseño de mezcla asfáltica modificada con 15% de SBR

Tabla N°4. 39.Resultado Marshall asfalto modificado 15% SBR

| <b>% de Asfalto</b> | <b>Identificación</b> | <b>Altura promedio (cm)</b> | <b>Estabilidad Corregida Promedio (lb)</b> | <b>Fluencia 1/100 Promedio</b> |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--|--------------------------------|
| <b>4,5</b>          | A1                    | 6,59                        | 2584,2                                     | 9,8                            |
|                     | A2                    | 6,57                        |  |                                |
|                     | A3                    | 6,58                        |  |                                |
| <b>5,0</b>          | A4                    | 6,52                        | 2783,7                                     | 11,8                           |
|                     | A5                    | 6,62                        |  |                                |
|                     | A6                    | 6,59                        |  |                                |
| <b>5,5</b>          | A7                    | 6,50                        | 2823,4                                     | 12,9                           |
|                     | A8                    | 6,43                        |  |                                |
|                     | A9                    | 6,36                        |  |                                |
| <b>6,0</b>          | A10                   | 6,35                        | 2750,4                                     | 14,9                           |
|                     | A11                   | 6,44                        |  |                                |
|                     | A12                   | 6,41                        |  |                                |
| <b>6,5</b>          | A13                   | 6,44                        | 2569,1                                     | 16,7                           |
|                     | A14                   | 6,40                        |  |                                |
|                     | A15                   | 6,42                        |  |                                |
| <b>7,0</b>          | A16                   | 6,36                        | 2159,6                                     | 20,6                           |
|                     | A17                   | 6,40                        |  |                                |
|                     | A18                   | 6,38                        |  |                                |

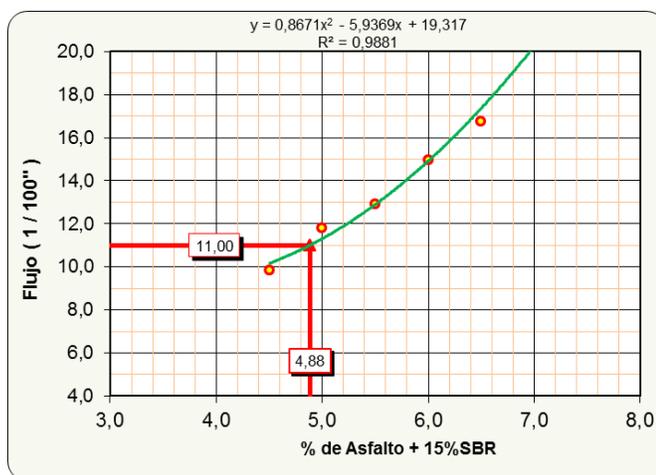
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 31. Porcentaje asfalto modificado 15% SBR vs estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 32. Porcentaje asfalto modificado 15% SBR vs fluencia



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 40.% optimo asfalto modificado 15% SBR

| Valores obtenidos diseño Marshall |              |                       |                           |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|
| Características                   | % de asfalto | Obtenidos de gráficos | Especificaciones técnicas |
| Estabilidad                       | 5,51         | 2832,0                | >1500 lb                  |
| Fluencia                          | 4,88         | 11,0                  | 8      14                 |
| % Optimo de asfalto propuesto     |              |                       | 5,51                      |

Fuente: Elaboración propia

En los diseños de 15% de Caucho en mezclas asfálticas se presentó una mejora de 12.5% en la estabilidad y una reducción en la deformación con 2.3% tomando como referencia el asfalto convencional óptimo.

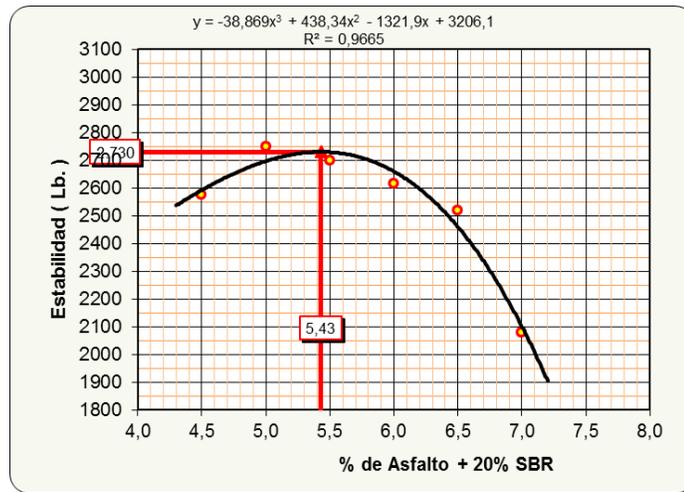
#### 4.8.3. Resultado de diseño de mezcla asfáltica modificada con 20% de SBR

*Tabla N°4. 41.Resultado Marshall de asfalto modificado 20% SBR*

| <b>% de Asfalto</b> | <b>Identificación</b> | <b>Altura promedio (cm)</b> | <b>Estabilidad corregida Promedio (lb)</b> | <b>Fluencia 1/100 Promedio</b> |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--|--------------------------------|
| <b>4,5</b>          | A1                    | 6,59                        | 2574,4                                     | 8,6                            |
|                     | A2                    | 6,57                        |  |                                |
|                     | A3                    | 6,58                        |  |                                |
| <b>5,0</b>          | A4                    | 6,52                        | 2747,7                                     | 10,4                           |
|                     | A5                    | 6,62                        |  |                                |
|                     | A6                    | 6,59                        |  |                                |
| <b>5,5</b>          | A7                    | 6,50                        | 2699,8                                     | 11,9                           |
|                     | A8                    | 6,43                        |  |                                |
|                     | A9                    | 6,36                        |  |                                |
| <b>6,0</b>          | A10                   | 6,35                        | 2614,6                                     | 13,9                           |
|                     | A11                   | 6,44                        |  |                                |
|                     | A12                   | 6,41                        |  |                                |
| <b>6,5</b>          | A13                   | 6,44                        | 2518,3                                     | 14,6                           |
|                     | A14                   | 6,40                        |  |                                |
|                     | A15                   | 6,42                        |  |                                |
| <b>7,0</b>          | A16                   | 6,36                        | 2080,3                                     | 20,5                           |
|                     | A17                   | 6,40                        |  |                                |
|                     | A18                   | 6,38                        |  |                                |

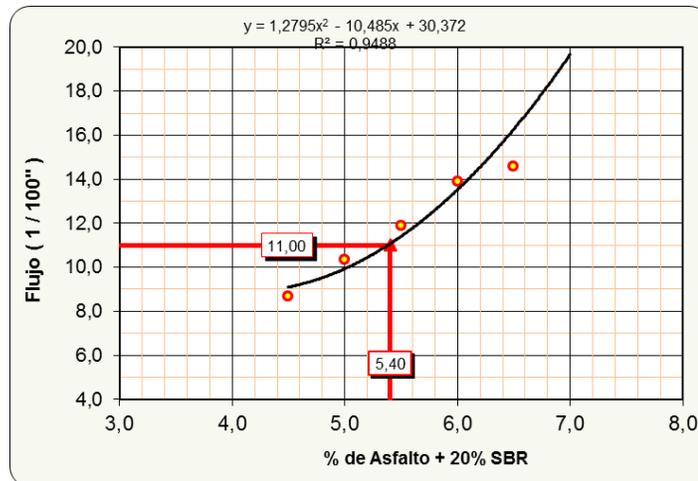
*Fuente: Elaboración propia*

Figura N°4. 33. Porcentaje de asfalto modificado con 20% SBR vs estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 34. Porcentaje de asfalto modificado 20% SBR vs fluencia



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 42.% Optimo asfalto modificado 20% SBR

| Valores obtenidos diseño Marshall |              |                       |                           |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|
| Características                   | % de asfalto | Obtenidos de gráficos | Especificaciones técnicas |
| Estabilidad                       | 5,43         | 2730,0                | >1500 lb                  |
| Fluencia                          | 5,4          | 11,0                  | 8      14                 |
| % Optimo de asfalto propuesto     |              |                       | 5,43                      |

Fuente: Elaboración propia

En los diseños de 20% de Caucho en mezclas asfálticas no se presentó ninguna mejora en la estabilidad y una reducción en la deformación con 10.92% tomando como referencia el asfalto convencional óptimo.

#### **4.8.4. Resultado de diseño de mezcla asfáltica modificada con 25% de SBR**

Al realizar el diseño de 25% de SBR equivalente al 12 gr de Caucho y el 36gr de asfalto indicado en la tabla N°68 se observa lo siguiente:

Siguiendo el procedimiento adecuado a la temperatura superior a 140°C con una compactación de 75 golpes por cada lado se observó un desprendimiento de los agregados debido al exceso de caucho, se pudo apreciar que faltó asfalto para cubrir la superficie de los agregados. Para una confirmación del fenómeno se procedió a realizar más ensayos con el fin de confirmar la falta de asfalto.

*Figura N°4. 35.Desprendimiento de los agregados*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°4. 36.Segundo ensayo con desprendimiento de los agregados*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°4. 37.Marshall a 25% deSBR*



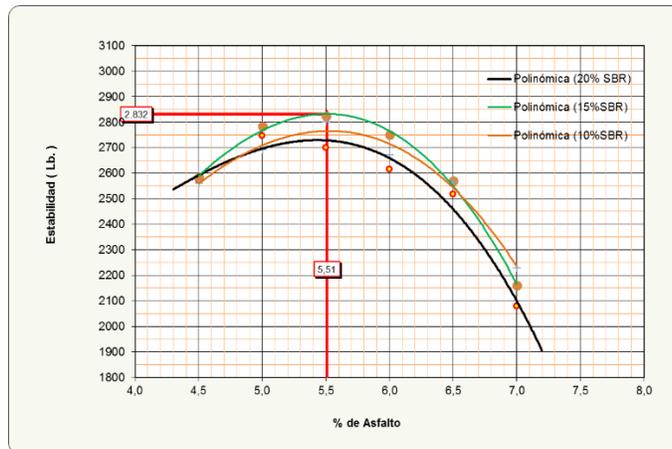
*Fuente: Elaboración propia*

Después de la insistencia al diseño se procedió al ensayo Marshall donde se observó la fragilidad al momento de la deformación las muestras se desintegraron con facilidad, se observó que a temperatura de 60 °C va mostrando baja estabilidad y una alta deformación con este ensayo podemos afirmar que el exceso de SBR no es bueno para el diseño.

Nota: En este ensayo, no se realizó los cálculos de asfalto modificado con 25% de SBR por lo mencionado.

#### 4.9. Comportamiento de la Estabilidad en función al % SBR

Figura N°4. 38. Comparación de estabilidad a distintos % de SBR

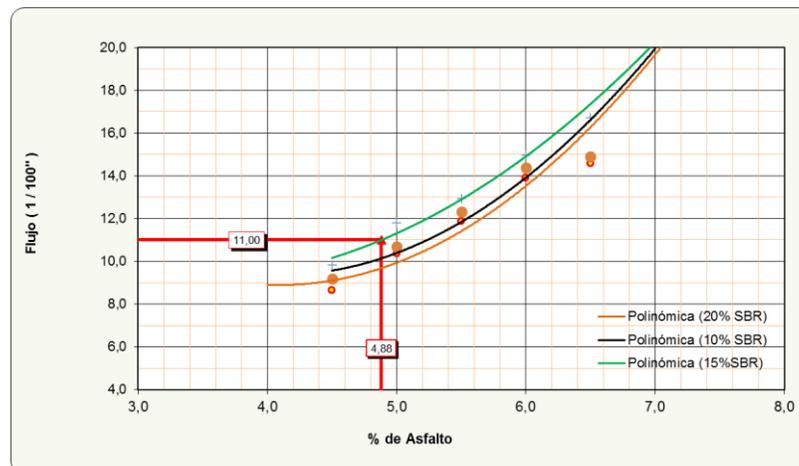


Fuente: Elaboración propia

En esta figura N°55 se puede apreciar que al 10% de SBR se obtiene una 2750 lb aproximadamente y con el 15% se incrementó a un máximo de 2832 lb para un 20% de SBR se observa una caída de la estabilidad, con valor de 2710 lb. Se puede afirmar que a mayor % de SBR impide la cohesión entre el agregado, por lo que da facilidad el rozamiento entre agregados logrando una baja estabilidad. Con la Fluencia se encontró un comportamiento dentro de los parámetros por lo que se opta por el % máximo de la estabilidad.

##### 4.9.1. Porcentaje de asfalto Vs flujo

Figura N°4. 39. Comparación de flujo a distintos % de SBR



Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.2. Resultados de las gráficas:

*Tabla N°4. 43.Resultado de graficas Marshall, estabilidad y flujo*

| <b>Valores obtenidos diseño Marshall</b> |              |                       |                           |
|--|--------------|-----------------------|---------------------------|
| Características                          | % de asfalto | Obtenidos de gráficos | Especificaciones técnicas |
| Estabilidad                              | 5,53         | 2766,0                | >1500 lb                  |
| Fluencia                                 | 5,25         | 11,0                  | 8      14                 |
| Estabilidad                              | <b>5,51</b>  | <b>2832,0</b>         | >1500 lb                  |
| Fluencia                                 | <b>4,88</b>  | <b>11,0</b>           | 8      14                 |
| Estabilidad                              | 5,43         | 2730,0                | >1500 lb                  |
| Fluencia                                 | 5,4          | 11,0                  | 8      14                 |
| <b>% asfalto propuesto</b>               |              |                       | <b>5,51</b>               |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.10. Resultado, diseño de la mezcla asfáltica modificada con 15% de SBR

Se trabajó con el asfalto modificado con el 15% de grano SBR para su diseño

*Figura N°4. 40. Mezclado de asfalto modificado 15% SBR*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°4. 41. Introduciendo mezcla asfáltica a los moldes*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°4. 42. Identificando muestras*



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N°4. 44.Resultado Marshall asfalto modificado con 15% SBR

| % de Asfalto | Identificación | Altura promedio (cm) | Densidad real promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | % Vacíos en la mezcla (Vv) | % Vacíos de agregado (VAM) | % Vacíos llenos de asfalto (RBV) | Estabilidad corregida promedio (lb) | Fluencia 1/100 promedio |
|--------------|----------------|----------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 4,5          | A1             | 6,55                 | 2,336  | 6,44                       | 16,75                      | 61,54                            | 2584,2                              | 9,84                    |
|              | A2             | 6,58                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A3             | 6,51                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 5,0          | A4             | 6,52                 | 2,345  | 5,37                       | 16,87                      | 68,15                            | 2783,7                              | 11,81                   |
|              | A5             | 6,50                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A6             | 6,53                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 5,5          | A7             | 6,55                 | 2,371  | 3,61                       | 16,39                      | 78,00                            | 2823,4                              | 12,93                   |
|              | A8             | 6,54                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A9             | 6,58                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 6,0          | A10            | 6,55                 | 2,374  | 2,75                       | 16,71                      | 83,57                            | 2750,4                              | 14,96                   |
|              | A11            | 6,54                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A12            | 6,50                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 6,5          | A13            | 6,55                 | 2,373  | 2,10                       | 17,21                      | 87,83                            | 2569,4                              | 16,73                   |
|              | A14            | 6,58                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A15            | 6,56                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
| 7,0          | A16            | 6,58                 | 2,362  | 1,82                       | 18,03                      | 89,90                            | 2159,6                              | 20,60                   |
|              | A17            | 6,55                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |
|              | A18            | 6,59                 |  |                            |                            |                                  |                                     |                         |

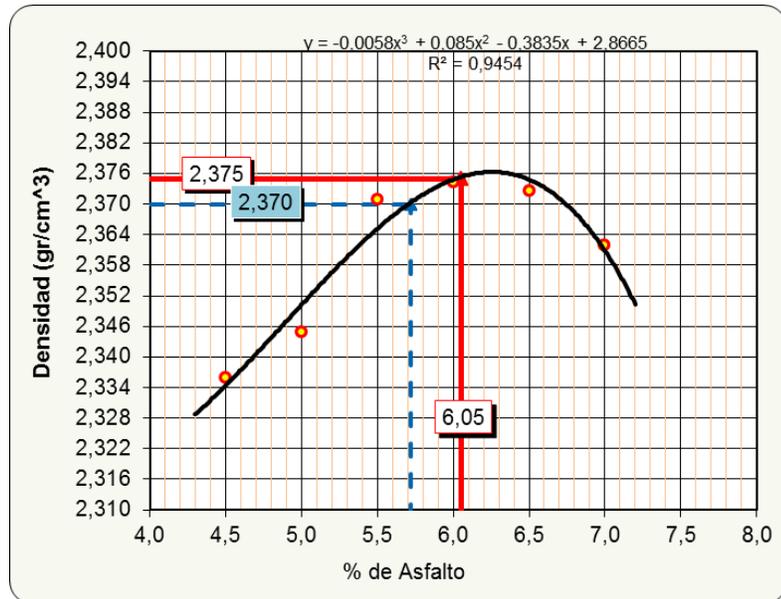
Fuente: Elaboración propia

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

- Porcentaje de asfalto vs. densidad de la briqueta
- Porcentaje de asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)
- Porcentaje de asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV)

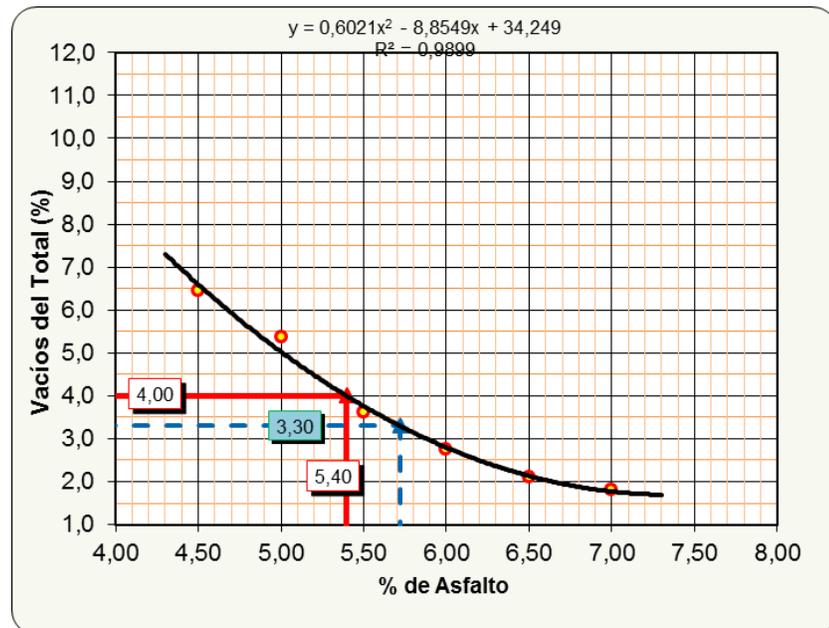
- Porcentaje de asfalto vs. estabilidad corregida
- Porcentaje de asfalto vs. fluencia

Figura N°4. 43. Porcentaje de asfalto vs densidad



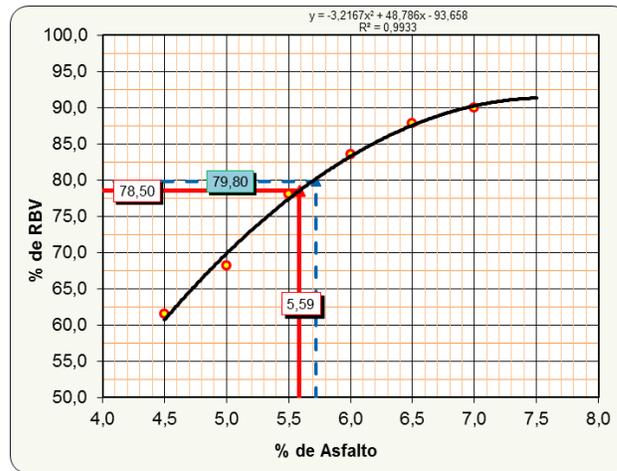
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 44. Porcentaje de asfalto vs vacíos totales



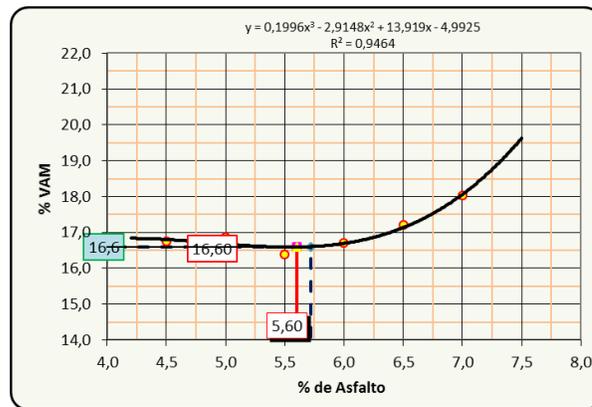
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 45. Porcentaje de asfalto vs RBV



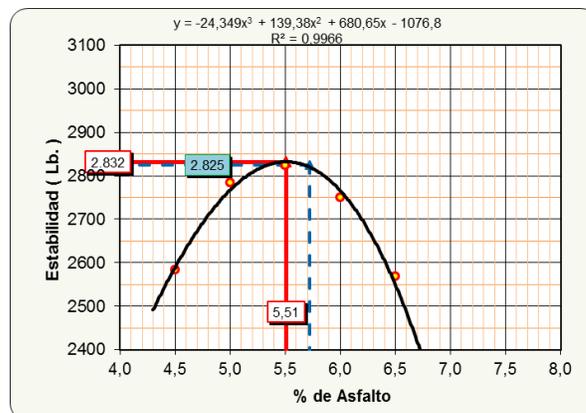
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 46. Porcentaje de asfalto vs VAM



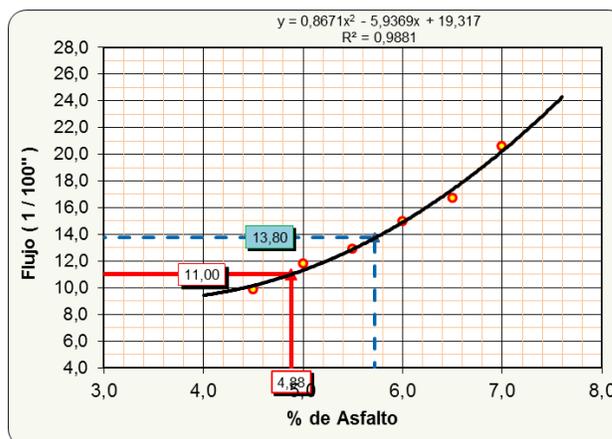
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 47. Porcentaje de asfalto vs estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura N°4. 48. Porcentaje de asfalto vs fluencia



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 45. Resultado de diseño óptimo, mezcla asfáltica modificada con SBR

| Valores         |              |  |                           |    |
|-----------------|--------------|--|---------------------------|----|
| Características | % de asfalto | Obtenidos de gráficos  | Especificaciones técnicas |    |
| Densidad        | 6,05         | 2,37   | **                        | ** |
| Estabilidad     | 5,51         | 2832   | >1500 lb                  |    |
| VAM             | 5,6          | 16,6   | 15                        |    |
| Promedio (%)    | 5,72         | Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las graficas |                           |    |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 46. Resultado de diseño óptimo mezcla asfáltica modificada con SBR

| Valores obtenidos diseño Marshall |              |                       |                           |    |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|----|
| Características                   | % de asfalto | Obtenidos de gráficos | Especificaciones técnicas |    |
| Densidad                          | 5,72         | 2,4                   | **                        | ** |
| % vacíos                          | 5,72         | 3,3                   | 3                         | 5  |
| RBV                               | 5,72         | 79,8                  | 75                        | 85 |
| VAM                               | 5,72         | 16,7                  | 15                        |    |
| Estabilidad                       | 5,72         | 2825,0                | >1500 lb                  |    |
| Fluencia                          | 5,72         | 13,8                  | 8                         | 14 |
| % Óptimo de asfalto propuesto     |              |                       | 6,0                       |    |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.11. Tratamiento estadístico asfalto modificado con 15% de SBR

Tabla N°4. 47. Tratamiento estadístico asfalto modificado con 15% de SBR

| N° Muestras                    | % Optimo de Asfalto | Densidad (Grs/cm3) | Estabilidad (Libras) | Flujo (1/100plg) | % Vacíos (%) | % V.A.M. (%) | % R.B.V. (%) |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1                              | 5,72                | 2,37               | 2825                 | 13,5             | 3,3          | 16,5         | 79,8         |
| 2                              | 5,72                | 2,38               | 2830                 | 13,5             | 3,4          | 16,6         | 79,9         |
| 3                              | 5,72                | 2,37               | 2835                 | 13,8             | 3,5          | 16,7         | 78,1         |
| 4                              | 5,72                | 2,39               | 2820                 | 13,6             | 3,2          | 16,4         | 79,7         |
| 5                              | 5,72                | 2,35               | 2815                 | 13,5             | 3,1          | 16,5         | 79,5         |
| 6                              | 5,72                | 2,36               | 2830                 | 13,4             | 3,3          | 16,3         | 79,2         |
| 7                              | 5,72                | 2,36               | 2825                 | 13,3             | 3,2          | 16,4         | 79,3         |
| 8                              | 5,72                | 2,37               | 2820                 | 13,5             | 3,2          | 16,6         | 78,1         |
| 9                              | 5,72                | 2,35               | 2825                 | 13,4             | 3,3          | 16,5         | 79,8         |
| 10                             | 5,72                | 2,38               | 2830                 | 13,8             | 3,4          | 16,6         | 79,8         |
| 11                             | 5,72                | 2,39               | 2835                 | 13,2             | 3,3          | 16,5         | 79,8         |
| 12                             | 5,72                | 2,37               | 2820                 | 13,1             | 3,4          | 16,6         | 79,9         |
| 13                             | 5,72                | 2,38               | 2815                 | 13,5             | 3,5          | 16,7         | 78,5         |
| 14                             | 5,72                | 2,37               | 2830                 | 13,5             | 3,2          | 16,4         | 79,7         |
| 15                             | 5,72                | 2,39               | 2825                 | 13,8             | 3,1          | 16,5         | 79,5         |
| Máximo                         |                     | 2,39               | 2835                 | 13,8             | 3,5          | 16,7         | 79,9         |
| Mínimo                         |                     | 2,35               | 2815                 | 13,1             | 3,1          | 16,3         | 78,1         |
| Promedio                       |                     | 2,37               | 2825,33              | 13,49            | 3,29         | 16,52        | 79,37        |
| Mediana                        |                     | 2,37               | 2825,00              | 13,50            | 3,30         | 16,50        | 79,70        |
| Moda                           |                     | 2,37               | 2825,00              | 13,50            | 3,30         | 16,50        | 79,80        |
| Varianza                       |                     | 0,00               | 40,95                | 0,04             | 0,02         | 0,01         | 0,40         |
| Desviación Estándar            |                     | 0,01               | 6,40                 | 0,21             | 0,13         | 0,11         | 0,63         |
| Coefficiente de variación      |                     | 0,56               | 0,23                 | 1,52             | 3,89         | 0,69         | 0,79         |
| Datos no dispersos, Homogéneos |                     |                    |                      |                  |              |              |              |
| Confianza                      |                     |                    |                      |                  |              |              |              |
| 95%                            |                     | 1,96               | 1,96                 | 1,96             | 1,96         | 1,96         | 1,96         |
| Limit Inf                      |                     | 2,38               | 2828,69              | 13,60            | 3,36         | 16,58        | 79,70        |
| Limit Sup                      |                     | 2,37               | 2821,98              | 13,39            | 3,23         | 16,46        | 79,04        |
| Resultado                      |                     | <b>2,37</b>        | <b>2825,33</b>       | <b>13,49</b>     | <b>3,29</b>  | <b>16,52</b> | <b>79,37</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.12. Análisis del precio de producción para mezcla asfálticas

Es muy importante tener en cuenta que el precio de producción es uno de los factores más relevantes a considerar en los proyectos de ingeniería, por lo tanto, mientras más eficiente sea la labor de estas, menos recursos se invertirán en su producción y a su vez el precio final será menor.

Para la presente investigación se analizará los precios de producción para las diferentes mezclas asfálticas.

##### 4.12.1. Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica convencional.

Dosificación de los materiales para la mezcla asfáltica convencional.

*Tabla N°4.48. Dosificación para la mezcla asfáltica convencional*

| Dosificación de la mezcla asfáltica normal |            |
|--|------------|
| Materiales                                 | Porcentaje |
| Grava de 3/4"                              | 2.75%      |
| Gravilla de 3/8"                           | 17.77%     |
| Arena triturada                            | 73.50%     |
| Cemento asfáltico                          | 6.00%      |

*Fuente: Elaboración propia*

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2340kg/m<sup>3</sup>.

*Tabla N°4.49. Dosificación para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica convencional*

| Dosificación para un metro cubico |           |                                |                           |                |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|----------------|
| Material                          | Peso (Kg) | Peso esp. (Kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Unidad         |
| Grava de 3/4"                     | 64.35     | 2340                           | 0.028                     | m <sup>3</sup> |
| Gravilla                          | 415.82    | 2340                           | 0.178                     | m <sup>3</sup> |
| Arena triturada                   | 1719.9    | 2340                           | 0.735                     | m <sup>3</sup> |
| Cemento Asfáltico                 | 140.4     | 140.4                          | 140.4                     | Kg             |

*Fuente: Elaboración propia*

Se realizó un cálculo de los precios para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica normal, a continuación, se muestra los precios unitarios.

Tabla N°4.50. Precios de producción para 1m3 de la mezcla asfáltica convencional.

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS                               |        |                        |                 |                |
|---|--------|------------------------|-----------------|----------------|
| Proyecto de Grado   |        |                        | Actividad N°    | <b>1</b>       |
| Actividad: Carpeta concreto Asfáltico convencional          |        | Cantidad:              |                 | 1,0            |
| Unidad: <b>m3</b>   |        | Moneda Bs              |                 |                |
| Descripcion   | Unidad | Cantidad o Rendimiento | Precio Unitario | Costo total    |
| <b>1 Materiales</b>   |        |                        |                 |                |
| 1 Grava de 3/4"   | m3     | 0,028                  | 152             | 4,24           |
| 2 Gravilla de 3/8"  | m3     | 0,178                  | 152             | 27,01          |
| 3 Arena triturada   | m3     | 0,735                  | 145             | 106,58         |
| 4 Cemento Asfáltico convencional                            | kg     | 140,4                  | 9               | 1263,60        |
| 5 Gasolina  | lt     | 18                     | 3,74            | 67,32          |
| <b>Total Materiales</b>                                     |        |                        |                 | <b>1468,75</b> |
| <b>2 Mano de Obra</b>                                       |        |                        |                 |                |
| 1 Ayudante de Operador                                      | hr     | 0,028                  | 16              | 0,45           |
| 2 Capataz   | hr     | 1,8                    | 25              | 45,00          |
| 3 Operador  | hr     | 0,82                   | 20              | 16,40          |
| 4 Operador de Equipo Liviano                                | hr     | 0,082                  | 18              | 1,48           |
| 5 Operador de Planta  | hr     | 0,09                   | 23,19           | 2,09           |
| 6 Obrero  | hr     | 0,072                  | 12,07           | 0,87           |
| 7 Chofer  | hr     | 0,0012                 | 18              | 0,02           |
| Cargas Sociales (55% - 71,18%) del sub total M. O.          |        |                        | 65%             | 43,1           |
| Impuestos IVA MO. = 14,94% (del Sub Total de M.O. + Cargas) |        |                        |                 | 53,00          |
| <b>Total Mano de Obra</b>                                   |        |                        |                 | <b>162,4</b>   |
| <b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>                  |        |                        |                 |                |
| 1 Compactador Liso Pata de Cabra                            | hr     | 0,035                  | 303,85          | 10,63          |
| 2 Distribuidor de Agregados Autop                           | hr     | 0,028                  | 455,03          | 12,74          |
| 3 Esoba Macanica Autop                                      | hr     | 0,028                  | 71,55           | 2,00           |
| 4 Planta Calentamiento de Asfalto                           | hr     | 0,09                   | 965,23          | 86,87          |
| 5 Rodillo Neumatico T Sp1000                                | hr     | 0,084                  | 332,81          | 27,96          |
| 6 Terminadora de Asfalto                                    | hr     | 0,075                  | 669,06          | 50,18          |
| 7 Cargador Frontal de Ruedas=950m3                          | hr     | 0,0001                 | 421,29          | 0,04           |
| 8 Volqueta = 12m3   | hr     | 0,0012                 | 227,87          | 0,27           |
| Herramienta = (% del total de mano de obra)                 |        |                        | 5%              | 8,12           |
| <b>Total Eq. Maq. y Herr.</b>                               |        |                        |                 | <b>198,82</b>  |
| <b>4 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |        |                        |                 |                |
| Gastos Generales = de (1+2+3)                               |        |                        | 10%             | 163,4          |
| <b>5 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |        |                        |                 |                |
| Utilidad = (1+2+3+4)  |        |                        | 10%             | 179,74         |
| <b>6 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |        |                        |                 |                |
| Impuestos I. T. de (1+2+3+4+5)                              |        |                        | 3,09%           | 61,09          |
| <b>Total Item Precio Unitario</b>                           |        |                        |                 | <b>2234,20</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.12.2. Análisis del precio de producción para mezclas asfáltica modificada con SBS

Dosificación de los materiales para la mezcla asfáltica con asfalto modificado con SBS

Tabla 4.51. Dosificación para la mezcla asfáltica modificada con SBS

| Dosificación de la mezcla asfáltica modificada con SBS |            |
|--|------------|
| Materiales   | Porcentaje |
| Grava de 3/4"  | 2,75%      |
| Gravilla de 3/8"                                       | 17,77%     |
| Arena Triturada  | 73,50%     |
| Cemento asfáltico mod. SBS                             | 5,81%      |

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2250kg/m<sup>3</sup>.

Tabla N°4.52. Dosificación para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica modificada con SBS

| Dosificación para un metro cubico |           |                                |                           |                |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|----------------|
| Material                          | Peso (kg) | Peso esp. (Kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Unidad         |
| Grava de 3/4"                     | 65,35     | 2350                           | 0,028                     | m <sup>3</sup> |
| Gravilla de 3/8"                  | 415,82    | 2350                           | 0,177                     | m <sup>3</sup> |
| Arena Triturada                   | 1719,9    | 2350                           | 0,732                     | m <sup>3</sup> |
| Cemento asfáltico mod. SBS        | 136,53    |                                | 136,53                    | kg             |

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un cálculo de los precios para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica normal, a continuación, se muestra los precios unitarios.

Tabla N°4.53. Precios de producción para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica modificada con SBS.

| <b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>                        |        |                        |                 |                |
|---|--------|------------------------|-----------------|----------------|
| Proyecto de Grado   |        |                        | Actividad N°    | <b>2</b>       |
| Actividad: Carpeta concreto Asfáltico modificado con SBS    |        | Cantidad:              |                 | 1,0            |
| Unidad: <b>m3</b>   |        | Moneda Bs              |                 |                |
| Descripcion   | Unidad | Cantidad o Rendimiento | Precio Unitario | Costo total    |
| <b>1 Materiales</b>   |        |                        |                 |                |
| 1 Grava de 3/4"   | m3     | 0,028                  | 152             | 4,23           |
| 2 Gravilla de 3/8"  | m3     | 0,177                  | 152             | 26,90          |
| 3 Arena triturada   | m3     | 0,732                  | 145             | 106,12         |
| 4 Cemento asfáltico mod. con SBS                            | kg     | 136,530                | 10,5            | 1433,57        |
| 5 Gasolina  | lt     | 18                     | 3,74            | 67,32          |
| <b>Total Materiales</b>                                     |        |                        |                 | <b>1638,13</b> |
| <b>2 Mano de Obra</b>                                       |        |                        |                 |                |
| 1 Ayudante de Operador                                      | hr     | 0,028                  | 16              | 0,45           |
| 2 Capataz   | hr     | 1,8                    | 25              | 45,00          |
| 3 Operador  | hr     | 0,82                   | 20              | 16,40          |
| 4 Operador de Equipo Liviano                                | hr     | 0,082                  | 18              | 1,48           |
| 5 Operador de Planta  | hr     | 0,09                   | 23,19           | 2,09           |
| 6 Obrero  | hr     | 0,072                  | 12,07           | 0,87           |
| 7 Chofer  | hr     | 0,0012                 | 18              | 0,02           |
| Cargas Sociales (55% - 71,18%) del sub total M. O.          |        |                        | 65%             | 43,1           |
| Impuestos IVA MO. = 14,94% (del Sub Total de M.O. + Cargas) |        |                        |                 | 53,00          |
| <b>Total Mano de Obra</b>                                   |        |                        |                 | <b>162,4</b>   |
| <b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>                  |        |                        |                 |                |
| 1 Compactador Liso Pata de Cabra                            | hr     | 0,035                  | 303,85          | 10,63          |
| 2 Distribuidor de Agregados Autop                           | hr     | 0,028                  | 455,03          | 12,74          |
| 3 Esoba Macanica Autop                                      | hr     | 0,028                  | 71,55           | 2,00           |
| 4 Planta Calentamiento de Asfalto                           | hr     | 0,09                   | 965,23          | 86,87          |
| 5 Rodillo Neumatico T Sp1000                                | hr     | 0,084                  | 332,81          | 27,96          |
| 6 Terminadora de Asfalto                                    | hr     | 0,075                  | 669,06          | 50,18          |
| 7 Cargador Frontal de Ruedas=950m3                          | hr     | 0,0001                 | 421,29          | 0,04           |
| 8 Volqueta = 12m3   | hr     | 0,0012                 | 227,87          | 0,27           |
| Herramienta = (% del total de mano de obra)                 |        |                        | 5%              | 8,12           |
| <b>Total Eq. Maq. y Herr.</b>                               |        |                        |                 | <b>198,82</b>  |
| <b>4 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |        |                        |                 |                |
| Gastos Generales = de (1+2+3)                               |        |                        | 10%             | 163,4          |
| <b>5 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |        |                        |                 |                |
| Utilidad = (1+2+3+4)  |        |                        | 10%             | 179,74         |
| <b>6 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |        |                        |                 |                |
| Impuestos I. T. de (1+2+3+4+5)                              |        |                        | 3,09%           | 61,09          |
| <b>Total Item Precio Unitario</b>                           |        |                        |                 | <b>2403,58</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.12.3. Análisis del precio de producción para mezclas asfáltica modificada con SBR

Dosificación de los materiales para la mezcla asfáltica con asfalto modificado con SBS

*Tabla N°4.54. Dosificación para la mezcla asfáltica convencional*

| Dosificación de la mezcla asfáltica convencional |            |
|--|------------|
| Materiales                                       | Porcentaje |
| Grava de 3/4"                                    | 2,75%      |
| Gravilla de 3/8"                                 | 17,77%     |
| Arena Triturada                                  | 73,50%     |
| Cemento asfáltico                                | 4,86%      |
| Grano SBR  | 0,86%      |

*Fuente: Elaboración propia*

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2250kg/m<sup>3</sup>.

*Tabla N°4.55. Dosificación para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica convencional*

| Dosificación para un metro cubico |           |                                |                           |                |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|----------------|
| Material                          | Peso (kg) | Peso esp. (Kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Unidad         |
| Grava de 3/4"                     | 65,35     | 2370                           | 0,028                     | m <sup>3</sup> |
| Gravilla de 3/8"                  | 415,82    | 2370                           | 0,175                     | m <sup>3</sup> |
| Arena Triturada                   | 1719,9    | 2370                           | 0,726                     | m <sup>3</sup> |
| Cemento asfáltico convencional    | 115,18    |                                | 115,18                    | kg             |
| Grano SBR                         | 20,38     |                                | 20,38                     | kg             |

*Fuente: Elaboración propia*

Se realizó un cálculo de los precios para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica normal, a continuación, se muestra los precios unitarios.

Tabla N°4.56. Precios de producción para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica mod. SBR.

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS                               |  |                        |                 |                |
|---|--|------------------------|-----------------|----------------|
| Proyecto de Grado   |  |                        | Actividad N°    | 3              |
| Actividad: Carpeta concreto Asfáltico modificado con SBR    |  | Cantidad:              |                 | 1,0            |
| Unidad: m <sup>3</sup>                                      |  | Moneda                 |                 | Bs             |
| Descripcion   | Unidad                                       | Cantidad o Rendimiento | Precio Unitario | Costo total    |
| <b>1 Materiales</b>   |  |                        |                 |                |
| 1   | Grava de 3/4"                                | m <sup>3</sup>         | 0,028           | 4,19           |
| 2   | Gravilla de 3/8"                             | m <sup>3</sup>         | 0,175           | 26,67          |
| 3   | Arena triturada                              | m <sup>3</sup>         | 0,726           | 105,23         |
| 4   | Grano SBR                                    | kg                     | 20,38           | 92,46          |
| 5   | Cemento Asfáltico convencional               | kg                     | 115,18          | 1036,62        |
| 6   | Gasolina                                     | lt                     | 18              | 67,32          |
| <b>Total Materiales</b>                                     |  |                        |                 | 1332,49        |
| <b>2 Mano de Obra</b>                                       |  |                        |                 |                |
| 1   | Ayudante de Operador                         | hr                     | 0,028           | 0,45           |
| 2   | Capataz                                      | hr                     | 1,8             | 45,00          |
| 3   | Operador                                     | hr                     | 0,82            | 16,40          |
| 4   | Operador de Equipo Liviano                   | hr                     | 0,082           | 1,48           |
| 5   | Operador de Planta                           | hr                     | 0,09            | 2,09           |
| 6   | Obrero                                       | hr                     | 0,072           | 0,87           |
| 7   | Chofer                                       | hr                     | 0,0012          | 0,02           |
| Cargas Sociales (55% - 71,18%) del sub total M. O.          |  |                        | 65%             | 43,1           |
| Impuestos IVA MO. = 14,94% (del Sub Total de M.O. + Cargas) |  |                        |                 | 53,00          |
| <b>Total Mano de Obra</b>                                   |  |                        |                 | 162,4          |
| <b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>                  |  |                        |                 |                |
| 1   | Compactador Liso Pata de Cabra               | hr                     | 0,035           | 10,63          |
| 2   | Distribuidor de Agregados Autop              | hr                     | 0,028           | 12,74          |
| 3   | Esoba Macanica Autop                         | hr                     | 0,028           | 2,00           |
| 4   | Planta Calentamiento de Asfalto              | hr                     | 0,09            | 86,87          |
| 5   | Rodillo Neumatico T Sp1000                   | hr                     | 0,084           | 27,96          |
| 6   | Terminadora de Asfalto                       | hr                     | 0,075           | 50,18          |
| 7   | Cargador Frontal de Ruedas=950m <sup>3</sup> | hr                     | 0,0001          | 0,04           |
| 8   | Volqueta = 12m <sup>3</sup>                  | hr                     | 0,0012          | 0,27           |
| Herramienta = (% del total de mano de obra)                 |  |                        | 5%              | 8,12           |
| <b>Total Eq. Maq. y Herr.</b>                               |  |                        |                 | 198,82         |
| <b>4 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |  |                        |                 |                |
| Gastos Generales = de (1+2+3)                               |  |                        | 10%             | 163,4          |
| <b>5 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |  |                        |                 |                |
| Utilidad = (1+2+3+4)  |  |                        | 10%             | 179,74         |
| <b>6 Gastos Generales y Administrativos</b>                 |  |                        |                 |                |
| Impuestos I. T. de (1+2+3+4+5)                              |  |                        | 3,09%           | 61,09          |
| <b>Total Item Precio Unitario</b>                           |  |                        |                 | <b>2097,94</b> |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.13. Resultados del precio unitario de producción de las mezclas asfálticas.

Tabla Precios de producción para las mezclas asfálticas

Tabla N°4.57. Precios de producción para las mezclas asfálticas

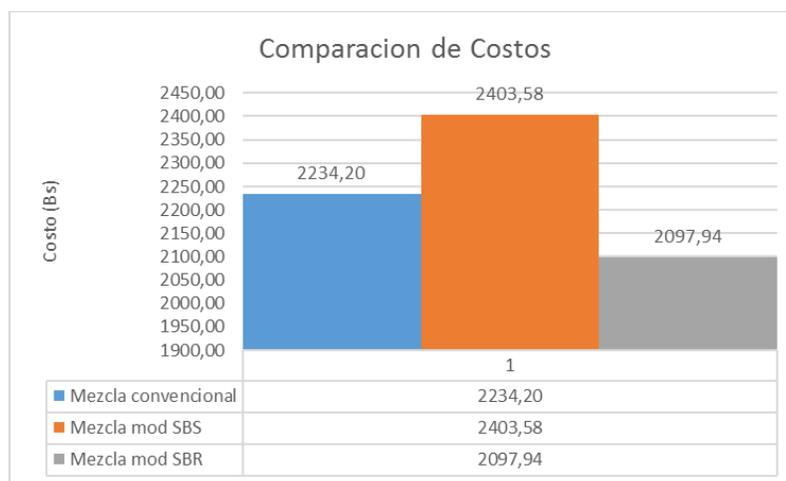
| Descripción                   | Costo (Bs) |
|-------------------------------|------------|
| Mezcla asfáltica convencional | 2234.2     |
| Mezcla asfáltica mod, SBS     | 2403.58    |
| Mezcla asfáltica mod. SBR     | 2097.94    |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.14. Comparación del precio de los materiales para las mezclas asfálticas estudiadas.

Como se puede observar en la figura el precio de las mezclas asfálticas modificadas con SBS son mayores que el de la mezcla asfáltica convencional y con SBR, también se puede apreciar que el precio más bajo es la mezcla asfáltica con adición de grano SBR donde las propiedades son iguales o mayores al convencional.

Figura N°4.49. Comparación del precio de las mezclas asfálticas.



Fuente: Elaboración propia

## 4.15. Análisis y comparación de los resultados obtenidos

### 4.15.1. Comparación visual

*Figura N°4.50. Comparación visual*



*Fuente: Elaboración propia*

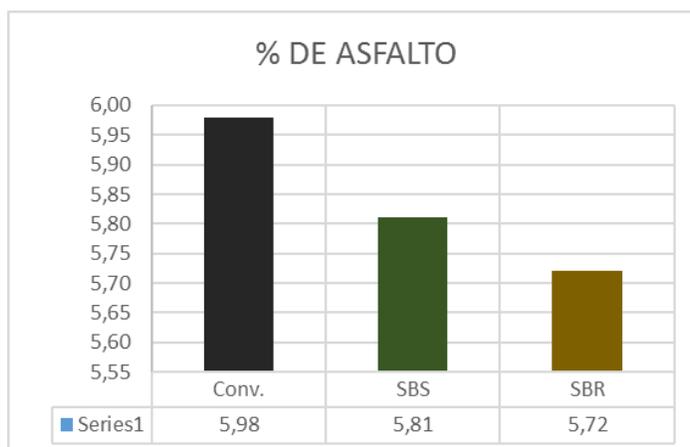
Se la figura se puede apreciar que asfalto convencional una vez sometido a ensayo Marshall muestra una deformación en la estructura circular, esto demuestra que el asfalto no tiene la adherencia necesaria para mantener su estructura cilíndrica. Por otra parte, la muestra con asfalto modificado con SBS muestra una deformación, pero no se observa fisuras en su estructura por lo que afirmamos que asfalto muestra la adherencia necesaria entre partículas manteniendo su forma con una leve deformación. Por último en el asfalto modificado con 15% de SBR se observa una deformación considerable pero inferior al asfalto convencional, se observa fisuras evitando el desmoronamiento de los agregados.

### 4.15.2. Comparación del contenido óptimo del cemento asfáltico

En cuanto a los contenidos óptimos de cemento asfáltico encontrados en los diferentes diseños de mezclas asfálticas, en la figura N°4.51. se observa que en las mezclas asfáltica convencional el uso de 5.98% se obtienen propiedades mecánicas óptimas, seguido del asfalto modificado con SBS con el 5,81% donde

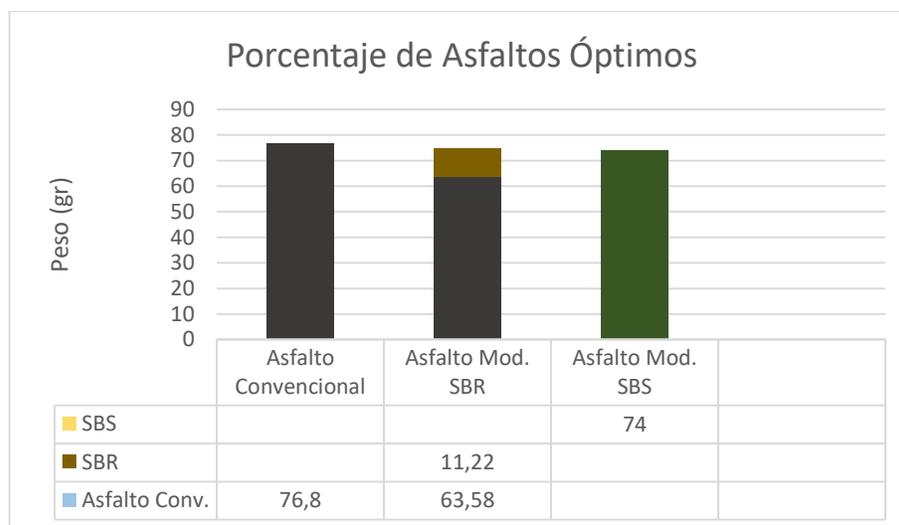
no hay diferencia significativa. Para el asfalto modificado con SBR con un 5.72% (74.80 gr) de asfalto modificado con la siguiente composición 4.29% (63,58 gr) de asfalto convencional y el 1.43% (11,22 gr) de SBR ver figura N°4.50.

*Figura N°4. 51. Comparación del contenido optimo cemento asfaltico*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura N°4. 52. Comparación de asfalto modificado SBR*



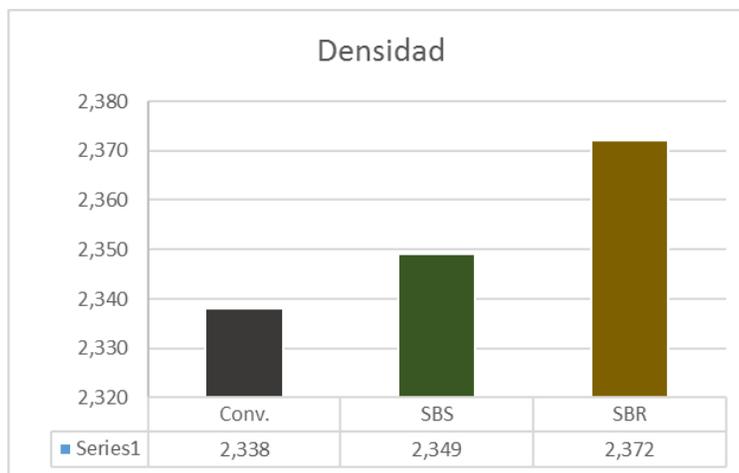
*Fuente: Elaboración propia*

En la figura N°4.52. entre el asfalto convencional y el modificado con SBR se puede ahorrar un 17% de asfalto convencional, agregando el 15% de caucho logrando propiedades superiores al tradicional.

#### 4.15.3. Comparación de la densidad

En la figura N°4.53. se puede apreciar que la densidad en el asfalto convencional es menor al asfalto modificado con SBS y SBR, cuando la diferencia con SBS no es significativo, la densidad modificada con SBR se aprecia una densidad apreciable debido que a la incorporación de SBR.

*Figura N°4. 53.Comparación de la estabilidad*

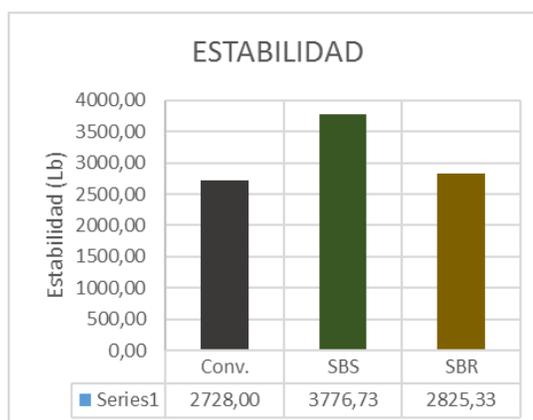


*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.15.4. Comparación estabilidad

En la figura N°4.54. se puede apreciar un mejor comportamiento en la resistencia (estabilidad) en los asfaltos modificados, se aprecia una resistencia mayor en el asfalto con SBS con un incremento de 27.76% superior al convencional, con esta investigación se puede apreciar las mejoras que brinda la composición del SBS. Por otra parte, el asfalto modificado con el 15% de SBR muestra una mejora de 3.5% se puede afirmar que, con el 4.86% del convencional y el 0.86 % de SBR se obtienen una estabilidad igual o casi mayor al diseño con asfalto convencional. Con esta afirmación podemos decir que se puede ahorrar un 25% de Asfalto convencional obteniendo propiedades mayores o igual.

*Figura N°4. 54. Comparación de la estabilidad*



*Fuente: Elaboración propia*

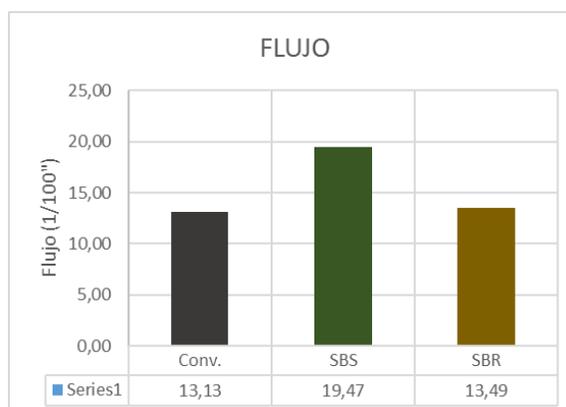
#### 4.15.5. Comparación flujo

En la figura N°4.55. la deformación o flujo a través de Marshall se aprecia de la siguiente manera: se puede observar que el asfalto modificado con SBR presenta mayor deformación con relación al convencional, conociendo que el SBS es un material elástico y brinda una recuperación elástica a una deformación.

El asfalto modificado con SBR se aprecia una deformación mayor que la convencional esta se debe a que el SBR brinda mayor elasticidad a la deformación.

El asfalto convencional no tiene la propiedad de recuperación elástica donde este mantiene una baja deformación.

*Figura N°4. 55. Comparación de flujo*



*Fuente: Elaboración propia*

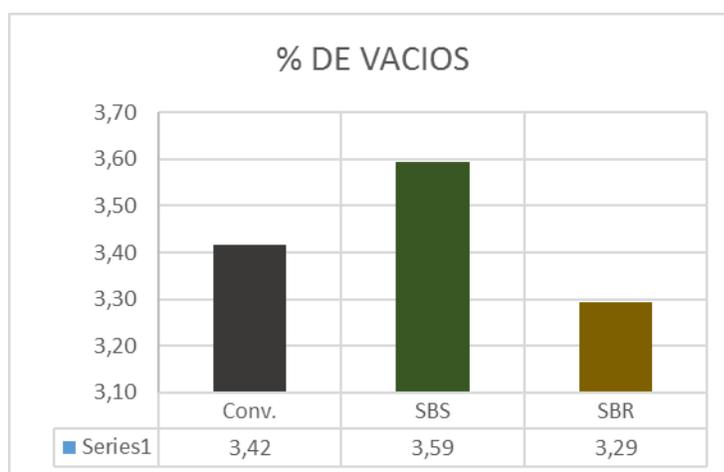
#### 4.15.6. Comparación de % de vacíos

En la figura N°4.56. el asfalto convencional presenta porcentajes de vacíos considerables y permisibles por los límites indicados en la Norma de Diseño.

El asfalto modificado con SBS presenta más vacíos se puede afirmar que es debido a la composición del asfalto, los vacíos se encontraron dentro de los rangos permitidos.

El asfalto convencional presenta menos porcentajes de vacíos esto se debe a que los granos SBR ocupan los vacíos generados por el agregado.

*Figura N°4. 56. Comparación de % de vacíos totales*



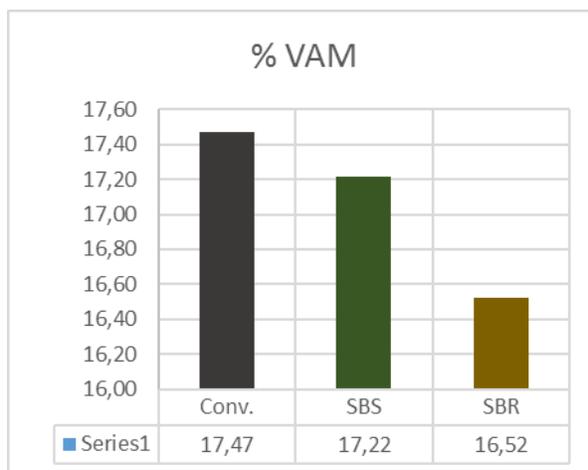
*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.15.7. Comparación de % de vacíos en el agregado mineral V.A.M.

Los vacíos en áridos son la suma de vacíos en la mezcla cuya variación de asfalto y de huecos ocupados con los ligantes, a medida que se incorpora más Asfalto estas ocupan los vacíos llenándolos de asfalto.

En la figura N°4.57. se observa que el porcentaje de las mezclas asfálticas llenas en los vacíos, es apreciable en asfalto convencional, donde se puede afirmar que el peso específico y la composición del asfalto afecto en el diseño.

Figura N°4. 57.Comparación de % VAM

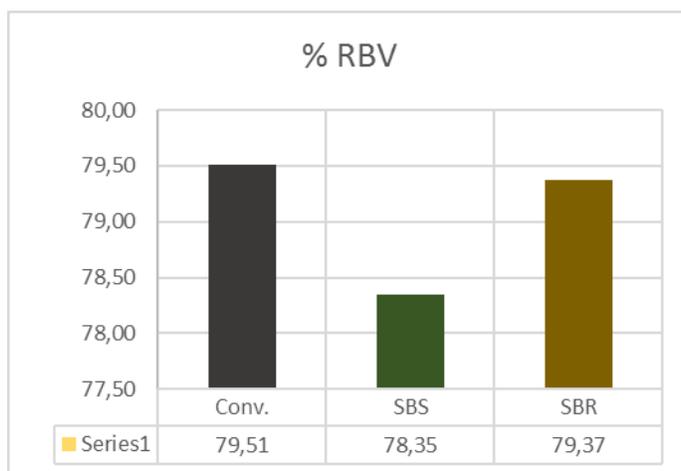


Fuente: Elaboración propia

#### 4.15.8. Comparación porcentaje de vacíos llenos de asfalto R.B.V.

En la figura N°4.58. Se puede observar que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto en las mezclas asfálticas convencional y modificado con SBR no hay mucha diferencia.

Figura N°4. 58.Comparación de % de RBV



Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

De acuerdo con el estudio correspondiente al comportamiento técnico de las propiedades en mezclas asfálticas convencional y modificadas con SBS, SBR. En base a los resultados obtenidos, se dará a conocer las siguientes:

- Dentro del aporte teórico se enfocará en la teoría del diseño de las mezclas asfálticas, de las propiedades resistentes, deformación y porcentaje de vacíos, además de ello se podrá observar los cambios producidos de las mezclas asfálticas por diferentes porcentajes de grano de SBR, la aplicación práctica será una posible alternativa en el campo de los asfaltos para optar con asfaltos modificados que brinden respuestas superiores al tráfico automotor.
- De acuerdo a la hipótesis planteada inicialmente se verificó en la investigación que las propiedades Estabilidad, Fluencia, Densidad y Porcentaje de Vacíos, serán afectados por el polímero y grano SBR donde las comparaciones de estas propiedades serán a partir de un número suficiente de muestras, teniendo en conocimiento el tratamiento estadístico.
- Se realizó la comparación de las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas convencional y otras modificadas con SBS y SBR, a través de equipos estandarizados como ser el Marshall, obteniendo resultados significativos por la influencia de la cantidad de asfalto modificado. Se superó las propiedades que brinda un asfalto convencional.
- Se identificaron las relaciones físicas que brinda las mezclas asfálticas convencional y modificadas con SBS y SBR donde se aprecian un peso específico dentro de los rangos esperados por la Norma AASTHO, se pudo apreciar que los comportamientos elásticos solo poseen los asfaltos modificados y no así el convencional.
- Al analizar los resultados obtenidos de Estabilidad y fluencia queda demostrado que la mezcla asfáltica elaborada con asfaltos modificados posee un mejor comportamiento que las mezclas elaboradas con asfalto convencional, tal como se esperaba, ya que la finalidad de modificar el asfalto es mejorar sus propiedades.

- De acuerdo a los ensayos realizados se pudo observar que la estabilidad, fluencia el cemento asfáltico modificado con polímero SBS brinda mejores resultados y cumpliendo con lo planteado inicialmente.
- Se realizó el diseño de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de caucho SBR para determinar el rendimiento máximo en resistencia y deformación, así mismo se establece la reducción en el empleo de asfalto convencional reemplazando con un 15% de SBR en función al peso del asfalto agregado, logrando resultados superiores al tradicional.
- Se determinó que las mezclas asfálticas modificadas con un porcentaje máximo de 25% de caucho SBR la resistencia y deformación sufren daños considerables, el exceso de caucho genera falta de cohesión con los agregados.
- Se comparó las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas a partir de un tratamiento estadístico inferencial donde la muestra de promedio son cercanas a la dispersión de datos, se realizó una prueba de bondad donde los datos se ajustan para una densidad de área Normal, con un 95% de confianza se obtuvieron los resultados que representan a la población.
- Desde el punto de vista económico, en la **figura 4.49**, se puede evidenciar que los precios para las mezclas asfálticas modificada con SBS son más elevados en comparación con la mezcla asfálticas convencional. Generalmente en los proyectos de ingeniería se busca realizar una actividad al menor costo posible pero que a su vez tenga las mejores características mecánicas, esto nos lleva a hacer un análisis más detallado del costo y de la resistencia (Estabilidad) de una mezcla asfáltica, para ver si es que nos conviene trabajar con asfaltos modificados, donde se evidencio que el asfalto modificado con 15% de SBR brinda mejores propiedades y bajo costo.

## 5.2. Recomendaciones

Recomendaciones para mejorar y continuar las investigaciones

- En el presente trabajo de investigación por disponibilidad de tiempo y para realizar los ensayos de cada grupo se elaboraron tres briquetas de manera que se pueda obtener datos más confiables de los ensayos realizados, analizando los cambios en sus comportamientos de estabilidad, deformación y propiedades.
- Para garantizar la calidad de las mezclas asfálticas se deberá realizar la presentación adecuada para evitar daños en la elaboración de las muestras puestas en las briquetas.
- Las investigaciones futuras se deben realizar ensayos como la Tensión Indirecta, Efecto por humedad, Resistencia a la fatiga, deformación dinámica para asfalto modificado con SBR, ya que se observó una debilidad al sumergir a temperatura de 60° por 30min para SBR con 25%.
- Desde el punto de vista del porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas, se recomienda diseñar con agregados que presenten más vacíos en las briquetas ya que el SBR sirve como relleno de vacíos.
- 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.
- Se recomienda ser muy cuidadosos al momento de trabajar con mezclas asfálticas, ya que se trabaja a altas temperaturas, se debe utilizar el equipo de seguridad necesario para la manipulación de los materiales.