

## **CAPÍTULO INTRODUCCIÓN**

### **1. Generalidades**

#### **1.1. Introducción**

Las carreteras son esenciales para el bienestar de la humanidad, tanto en términos sociales como económicos, pero es innegable que su construcción, mantenimiento y uso tienen un impacto negativo en el ambiente. Para minimizar parte de esos impactos, la respuesta de los ingenieros ha sido la producción y aplicación de mezclas asfálticas a temperatura reducida. En esta línea, se ha desarrollado la técnica para producir las mezclas templadas, la cual explora las distintas opciones y su eficacia a la hora de reducir el impacto medioambiental en la construcción y mantenimiento de las carreteras pavimentadas.

El presente trabajo se enmarca dentro de una iniciativa de investigación y pretende realizar un diseño de mezcla asfáltica templada MAT mediante la variación de la temperatura de mezclado y compactado con diferentes proporciones de agregados, realizando los correspondientes ensayos de laboratorio para estudiar la trabajabilidad y rendimiento de este tipo de mezcla asfáltica.

La reducción de las temperaturas de producción de las mezclas asfálticas, presenta en la actualidad uno de los desafíos más importantes en la ingeniería de caminos.

La producción de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) es un proceso de alto consumo energético con temperaturas de fabricación de 150-180°C. Se estima que se consumen un total de 697,7 MJ para la producción de un metro cúbico de mezcla MAC.

Así mismo, en el proceso de pavimentado, el asfalto caliente es uno de los principales contaminantes, debido a que la mezcla asfáltica debe hacerse a muy altas temperaturas, generando una gran cantidad de gases tóxicos que empeoran el efecto invernadero. Otro gran daño al medio ambiente con el asfalto es que al empezar a pavimentar se riega gran cantidad de sustancias bituminosas que escurren hasta los ríos o quebradas

cercanas, contaminando así a estos afluentes de agua y matando a los peces y demás animales que allí habitan.

Entre los desafíos se encuentra aquel de utilizar técnicas de producción de mezclas asfálticas que empleen menores temperaturas: Mezclas Asfálticas Templadas (MAT) de mayor trabajabilidad y rendimiento. No obstante lo anterior, la industria del asfalto no solo busca reducir el impacto al medio ambiente a través de la reducción del consumo energético si no que, además a través del uso de Material Reciclado (RAP) y la construcción de pavimentos de mejor desempeño y mayor durabilidad. Entre otros desafíos específicos están:

- Optimización métodos de diseño estructural.
- Mejoramiento de metodologías y técnicas de construcción.
- Mejoramiento de la calidad de los sistemas de producción.
- Mejoramiento de las técnicas y sistemas de gestión de mantenimiento de pavimentos.
- Mejoramiento de especificaciones de materiales (Ej. Superpone).

Los beneficios esperados del proyecto se verían reflejados en la disminución del consumo de energía durante la fabricación de la mezcla asfáltica templada, en la fase de producción, colocación y compactación del firme.

La investigación está dirigida a Ingenieros Civiles y empresas dedicadas al desarrollo y aplicación de mezclas asfálticas, así como a los contratistas de obras públicas interesados en preservar el medio ambiente mediante la utilización en las obras de materiales menos contaminantes como ser las mezclas asfálticas templadas.

## **1.2. Justificación**

En el quehacer profesional de la Ingeniería Civil, son reiteradas las inquietudes que se generan en los proyectos de pavimentación de mallas viales relacionadas con la mejor forma de reducir costos en la materia prima, en la producción y en el desecho de materiales, a esta situación, se suma la imperiosa necesidad ética, legal y ambiental, de ayudar a la sostenibilidad del ambiente a través de la implementación de alternativas que contribuyan a la minimización de impactos ambientales negativos.

A partir de ello, el fundamento del presente trabajo gira en torno a una solución para la producción de mezclas asfálticas, de forma tal que reduzca el uso de alta calefacción aplicada sobre la mezcla para la adhesión de partículas, y con ello, disminuya significativamente, el uso de combustibles fósiles para alimentar dicho sistema de calefacción.

La reducción de las temperaturas de producción de las mezclas asfálticas presenta en la actualidad uno de los desafíos más importantes en la ingeniería de caminos.

Debido al alto consumo energético en el proceso de producción de mezclas asfálticas calientes con temperaturas de fabricación de 150-180° C, lo cual nos conduce a la necesidad de realizar estudios para disminuir las temperaturas de fabricación y compactación.

El presente trabajo pretende proporcionar una de las nuevas tecnologías para la fabricación de una mezcla asfáltica templada. La cual posea las condiciones y características necesarias que especifica la norma para pavimentos de alto-mediano y bajo tránsito vehicular.

Así poder disminuir la contaminación ambiental, a través del consumo energético, también poder utilizar material reciclado RAP y así generar una construcción de pavimentos de mejor desempeño y mayor calidad, que tenga mayor trabajabilidad, rendimiento y sea de menor peligro en la manipulación de vertido de la mezcla al realizar el pavimentado.

### **1.3. Diseño Teórico**

#### **1.3.1. Situación Problemática**

La trabajabilidad se refiere a la facilidad con que una mezcla de pavimentación asfáltica puede ser colocada y compactada en un firme. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con una mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad y rendimiento de las mezclas asfálticas están relacionadas directamente con los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o granulometría, el rendimiento es proporcional a una unidad de medida.

En la fabricación y vertido de la mezcla asfáltica tradicional o convencional surge un problema, en la fabricación de la mezcla al ser a altas temperaturas entre 150 a 180°C, y el vertido en las mismas condiciones ocurre lo propio, estas son las llamadas mezclas asfálticas en caliente MAC. Las cuales para su construcción consumen alto consumo energético, generando una alta contaminación al medio ambiente y en el vertido una exposición amplia en los trabajadores.

Por lo cual es necesario reducir estas altas temperaturas de las mezclas asfálticas convencionales, mediante el estudio de una nueva tecnología de fabricación y generar una mezcla asfáltica templada MAT que alcance las propiedades especificadas en la norma de asfaltos, y que esta tenga una mejor trabajabilidad al momento que los trabajadores realicen el vertido en el firme.

#### **1.4. Problema**

¿De qué manera un estudio de mezclas asfálticas templadas podrá verificar si la trabajabilidad y rendimiento, brinda resultados con un buen nivel de confianza?

#### **1.5. Alcance de la Investigación**

El presente trabajo pretende proporcionar una de las nuevas tecnologías para la elaboración de una mezcla asfáltica templada. La cual posea las condiciones y características necesarias que especifica la norma ABC para pavimentos flexibles de alto tránsito vehicular.

El método planteado en este trabajo permitirá disminuir la contaminación ambiental, a través de la reducción del consumo energético y así generar una construcción de pavimentos flexibles de mejor desempeño y mayor calidad, que tenga buena trabajabilidad y rendimiento y sea de menor peligro para los obreros en la manipulación de vertido de la mezcla al realizar el pavimentado.

Este trabajo será de mucha utilidad para las empresas constructoras e Ingenieros Civiles y público en general dedicados a la construcción de carreteras para adquirir conocimiento de esta nueva alternativa de mezcla asfáltica templada ya que en nuestro país Bolivia aún no se utilizó este tipo de mezcla asfáltica según especifican los antecedentes de construcción de asfaltados de nuestro país.

Para el desarrollo y ejecución se utilizara las instalaciones del laboratorio de asfaltos del Servicio Departamental de Caminos SEDECA, ubicado en nuestra ciudad Tarija, donde se proporciona el equipo necesario para realizar los ensayos. Los materiales para la mezcla provienen de la planta de agregados GARZÓN ubicada en la comunidad de San Mateo de la ciudad de Tarija esto por contar con los agregados necesarios para realizar este estudio

Este proyecto se realizara entre los meses (febrero-marzo-abril) del 2017 es decir en 12 semanas continuas aproximadamente, tiempo en el cual se va a obtener como resultado final el diseño de mezclas asfálticas templadas haciendo variar la granulometría, la temperatura de aplicación y compactado para analizar y estudiar su trabajabilidad y rendimiento de las mismas.

## **1.6. Objetivos de la Investigación**

### **1.6.1. Objetivo General**

Estudiar el procedimiento de mezclado y control de mezclas asfálticas templadas, verificando criterios de trabajabilidad y control de rendimientos, con la finalidad de establecer un nivel de confianza adecuado de esta forma de mezclas asfálticas, utilizando materiales propios de la región.

### 1.6.2. Objetivos Específicos

1. Estudiar e interiorizarse sobre las características generales de las mezclas asfálticas templadas.
2. Determinar las propiedades físicas mecánicas de los materiales de una mezcla asfáltica templada.
3. Preparar mezclas asfálticas templadas con temperaturas entre 105 a 140 C°.
4. Determinar la temperatura óptima de mezclado y de compactación de las mezclas asfálticas templadas.
5. Analizar la trabajabilidad y el rendimiento de una mezcla asfáltica templada, comparada con una mezcla asfáltica convencional.
6. Establecer una posición sobre ventajas y desventajas de una mezcla asfáltica templada.
7. Determinar conclusiones y recomendaciones.

### 1.7. Hipótesis: Argumentación de la Hipótesis

Si se disminuye la temperatura de mezclado de las mezclas asfálticas, se podrá obtener un material de mayor trabajabilidad y rendimiento en la construcción de firmes.

### 1.8. Definición de las Variables Independiente y Dependientes

- **Variable Independiente**

Temperatura de mezclado	= X <sub>1</sub>	}	X
Temperatura máxima del agregado	= X <sub>2</sub>		

X= Variación de temperatura de MAT

- **Variable Dependiente**

Trabajabilidad	= Y <sub>1</sub>	}	Y
Rendimiento	= Y <sub>2</sub>		

Y= Dosificación

### Definición conceptual

#### Variación de la temperatura de Mezclas Asfálticas Templadas:

Se considera variable independiente para este estudio de investigación a la variación de la temperatura de mezclado ya que este factor incidirá en las propiedades mecánicas que llegue a tener la mezcla asfáltica.

#### Dosificación:

Implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen la mezcla asfáltica, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas o bien un acabado o pegado perfecto gracias a que el material sea muy trabajable

## DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

### 1.8.1. Variable Independiente

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
Variación de temperatura de MAT	Es la intensidad de calor o de frío utilizado en el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica.	Temperatura	En el mezclado  En el colocado  Durante el colocado	Ensayo Marshall  Ensayo Marshall  100% laboratorio
		Mezcla Asfáltica	Cemento asfáltico  Agregados	Tipo de cemento asfáltico  Tipo de agregados  Forma de aplicación

**Tabla 1.1:** Variable independiente

**Fuente:** Propia

### 1.8.2. Variable Dependiente

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
Dosificación	proporciones apropiadas de los materiales que componen la mezcla	Cantidad de materiales	Experimental teórico	100% laboratorio De comprobación
		Tipo de material	Asfaltos	Norma de asfaltos
		Tipo de mezcla	Mezcla asfáltica templada	100% laboratorio

**Tabla 1.2:** Variable dependiente

**Fuente:** Propia

## 1.9. Diseño Metodológico

### 1.9.1. Componentes

#### Unidad de estudio

Mezclas asfálticas templadas.

#### Población

Propiedades de todas las mezclas asfálticas templadas en conjunto con diferentes temperaturas.

#### Muestra

Trabajabilidad y estabilidad.



## Muestreo

PLANILLA								
ENSAYOS	Cantidad (Ni)	pi	qi	pi*qi	Ni*pi*qi	wi	ni	Asumido
<b>Caracterizacion de los agregados</b>								
Granulometria de aridos	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,500	2
porcentaje de caras fracturadas	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,500	2
porcentaje de particulas laminadas	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,0026	0,500	1
chatas y alargadas	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,0026	0,500	1
desgaste de los angeles	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,0026	0,500	1
equivalente de la arena y agregado fino	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,500	2
peso especifico y absorcion del agregado grueso	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	1,000	1
peso especifico del agregado fino	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	1,000	1
durabilidad metodo de los sulfatos	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,0026	0,500	1
limites de atterberg	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,0026	0,500	1
<b>Caracterizacion del cemento asfáltico</b>								
peso especifico	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	1,0	1
Punto de inflamacion	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,5	2
Penetracion	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,5	2
Viscosidad	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,5	2
<b>Propiedades mecanicas</b>								
Estabilidad	71	0,5	0,5	0,25	17,75	0,1849	35,51	36
Fluencia	71	0,5	0,5	0,25	17,75	0,1849	35,51	36
% de Vacios de aire	71	0,5	0,5	0,25	17,75	0,1849	35,51	36
% de VAM (Vacios de agregado mineral)	71	0,5	0,5	0,25	17,75	0,1849	35,51	36
Peso unitario	71	0,5	0,5	0,25	17,75	0,1849	35,51	36
TOTAL	384				96	1		191

DATOS NIVEL CONFIANZA 95%	
z=	<b>1,96</b>
p=	<b>0,5</b>
q=	<b>0,5</b>
e=	<b>0,05</b>

36 briquetas para realizar el respectivo estudio de las MAT

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2} =$$

N=	<b>384,16</b>	ensayos
N=	<b>384</b>	ensayos poblacion

$$n = \frac{\sum N_i * p_i * q_i}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} * \sum N_i * p_i * q_i} =$$

n=	<b>192,04</b>	ensayos
n=	<b>192</b>	ensayos

**Tabla 1.3:** Planilla de Muestreo

**Fuente:** Propia

- En el muestreo se tomó el método probabilístico estratificado con un nivel de confianza  $z=1.96$
- Probabilidad que ocurra el suceso  $p= 0.5$
- No probabilidad que ocurra el suceso  $q= 0.5$
- Error probable  $e= 0.05$

### **1.10. Métodos y Técnicas Empleadas**

El método a utilizar para este trabajo de investigación será correlacionar mediante el cual estudiaremos, seleccionaremos y agruparemos las variables a analizar así estudiar las propiedades mecánicas, trabajabilidad y rendimiento de las mezclas asfálticas templadas para verificar si estas cumplen las especificaciones mínimas de la fluencia y estabilidad de diseño Marshall.

Se pretende con este estudio disminuir la temperatura de mezclado de una mezcla convencional y elaborar una mezcla asfáltica templada de menor temperatura que sea más trabajable a través de la variación de temperaturas en el mezclado, utilizando diversos tipos de agregado pétreo (grueso, medio y fino) y establecer su respectivo rendimiento.

#### **Ensayos de laboratorio a realizarse**

De los agregados:

- Granulometría (ASTM C-71)
- Peso específico y absorción del agregado grueso-fino (ASTM D 127-128)
- Desgaste de los ángeles (ASTM E131) o (ASSTHO T96-99)
- Chatas y alargadas (ASTM C-142)

Del cemento asfáltico:

- Ensayo Viscosidad Saybolt-Furol (ASTM E102)
- Ensayo de Penetración (ASTM D-5)
- Ensayo de Punto de inflamación (ASTM D-92)
- Ensayo de Peso específico (ASTM D-70)

Propiedades mecánicas:

Método Marshall (ASTM D1559)

- Ensayo de Estabilidad y Fluencia

### 1.11. Tratamiento Estadístico

Para la evaluación y validación de la investigación se utilizara la estadística cuyas formulas y métodos son los siguientes:

- **Media:** Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Suma de los valores dividido por el tamaño muestra.

Conveniente cuando los datos se encuentran simétricamente con respecto a ese valor. Muy sensible a valores extremos. Centro de gravedad de los datos.

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{n}$$

- **Mediana:** es un conjunto de datos ordenados de menor a mayor, la mediana corresponde al dato central. Aquel que deja un 50% de la información bajo el y el otro 50% es mayor o igual. es un valor que divide a las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos. Si el número de datos es par, se elígela media de los datos centrales.

Es conveniente cuando los datos son asimétricos .no es sensible a valores extremos.

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

- **Moda:** Es el o los valor, valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.
- **Desviación Estándar:** es la raíz cuadrada de la varianza es la más usada delas medidas de dispersión.

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

- **Nivel de confianza:** El nivel de confianza es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las solicitudes exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de una manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las solicitudes de carga e intemperismo, o la

probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles. Para elegir el valor de este parámetro se considera la importancia del camino, la confiabilidad de la resistencia de cada una de las capas y el tránsito del diseño pronosticado

Valores del nivel de confianza Z de acuerdo al tipo de camino

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Autopistas	85-99,9	80-99,9
Carreteras de primer orden	80-99	75-95
Carreteras secundarias	80-95	75-95
Caminos vecinales	50-80	50-80

**Tabla 1.4:** Valores del nivel de confianza Z de acuerdo al tipo de camino

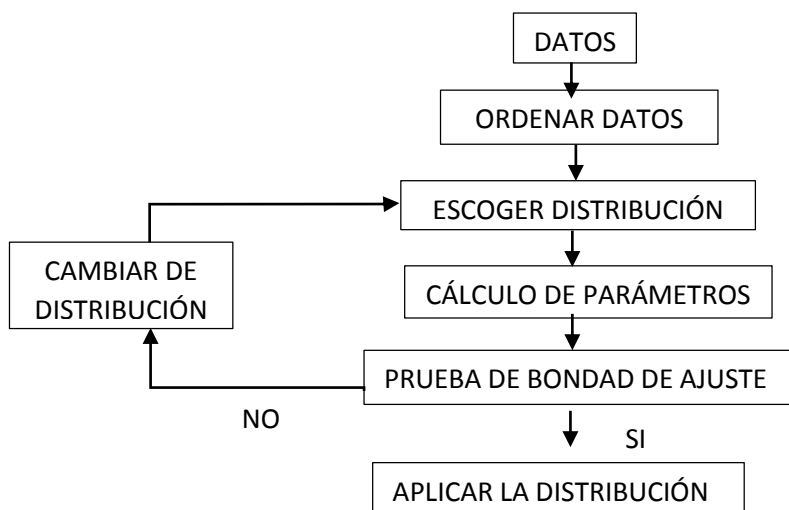
**Fuente:** AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Para determinar el nivel de confianza de resultados se aplicó el método  $\text{CHI}^2$  con la distribución normal.

### MÉTODO DE AJUSTE POR EL $\text{CHI}^2$

- Método utilizado para determinar si la muestra se ajusta o no se ajusta a una distribución teórica.

### Flujo grama que se recomienda aplicar



**Figura 1.1:** Flujo grama que se recomienda aplicar

**Fuente:** Estadística aplicada Julián de la Horra Navarro

### 1.11.1. Selección de Programa a Utilizar

En la aplicación estadística para este estudio, con los datos obtenidos en laboratorio se utilizara el programa estadístico Excel para obtener datos más precisos para denominado proyecto.

### 1.11.2. Estadística Descriptiva

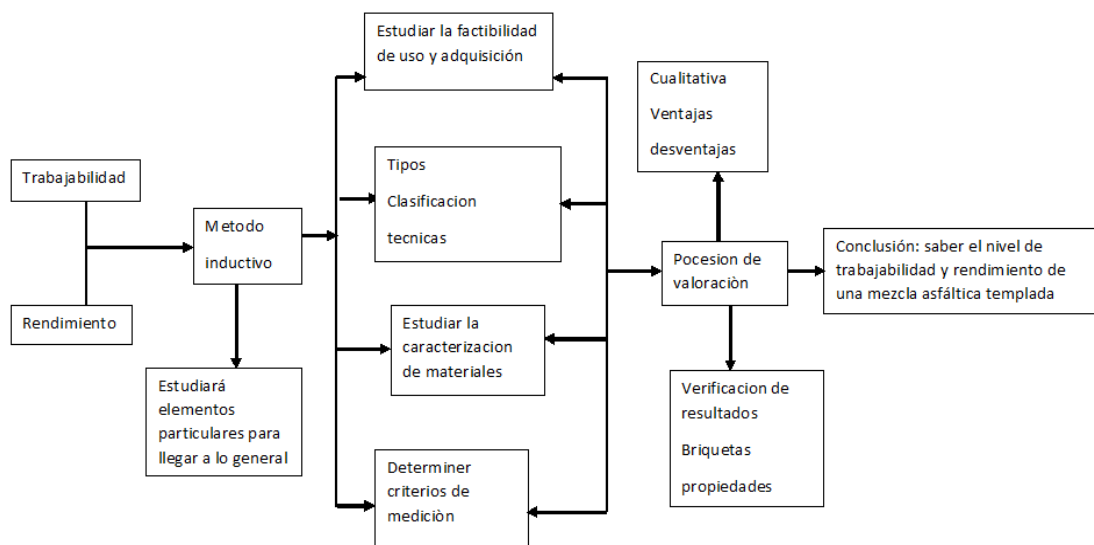
En la estadística descriptiva se utilizare la distribución de frecuencias.

### Estadística inferencial selecciona para comprobar la hipótesis formulada.

La estadística inferencial se caracteriza por comprobar la hipótesis formulada por lo cual utilizaremos pruebas parametrizadas, utilizando la regresión lineal para verificar si es consistente o no.

Actividades a realizar

1. Información teórica.
2. Recopilación de material.
3. Ensayos de laboratorio.
4. Trabajo de gabinete.
5. Conclusiones y recomendaciones.



**Figura 1.2:** Esquema del desarrollo del tema

**Fuente:** Propia

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2. Marco Teórico

##### 2.1. El Asfalto

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcción de calles comenzó a fines del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos. Hoy día los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados.

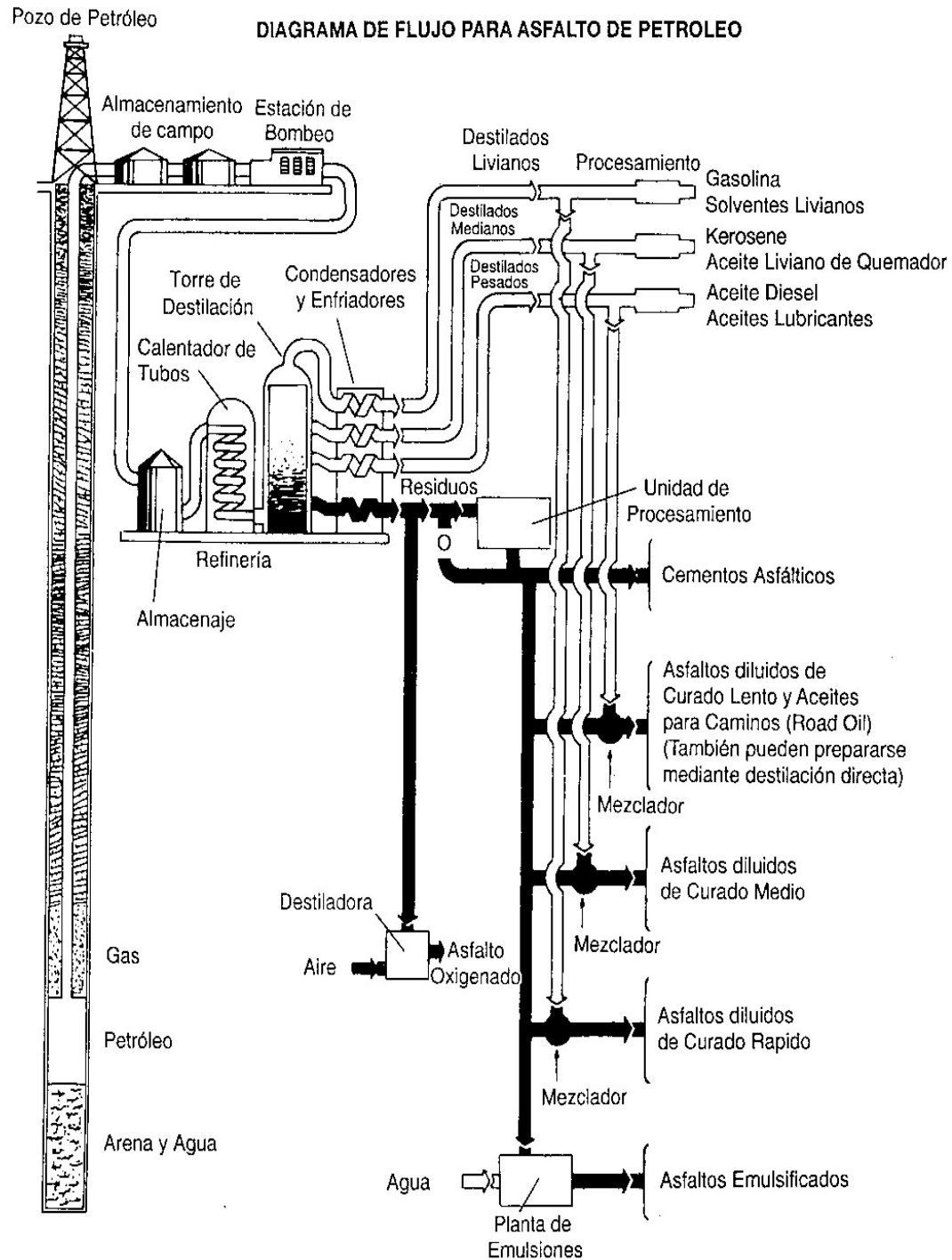
Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción, es la siguiente: un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo.

Ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes.

##### 2.1.1. Definición de Asfalto:

El asfalto, también denominado betún, es un material formado del producto de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo, de consistencia entre sólido y semisólido (sólido blando), viscoso variable con la temperatura, pegajoso y de color negro. Esto significa que cuando se calienta suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezclas. Esto expresa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resiste a muchos tipos de daños químicos.

El asfalto puede considerarse como un desecho, también puede verse como un producto de gran calidad, sobre el que se fundamenta gran parte de la construcción de los firmes flexibles, denominados también firmes asfálticos o firmes bituminosos, en virtud de este dúctil, flexible y tenaz material que los constituye y caracteriza.



**Figura 2.1:** Diagrama de Fabricación de los productos asfálticos

**Fuente:** ASPHALT INSTITUTE (1973). "Manual del Asfalto". Traducido por Manuel Velázquez. PROAS. Ediciones URMO. España.

## **2.2. Mezclas Asfálticas:**

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua.

Es la combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas en que se combinan estos elementos determinan las características físicas y mecánicas de las mezclas y su comportamiento posterior como pavimento terminado.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por:

- 90% de agregados o áridos pétreos (gruesos y finos, que a su vez pueden ser naturales o triturados)
- 5% de relleno mineral o fíller (material fino, proveniente de los mismos agregados pétreos o de materiales comerciales como cal, cemento Portland o polvo calcáreo)
- 5% de ligante asfáltico: cemento asfáltico o emulsión asfáltica.

Debido a las características del asfalto, las mezclas asfálticas tienen un comportamiento que depende de la temperatura y la velocidad de aplicación de las cargas. Solo que en determinadas condiciones se puede considerar que tienen un comportamiento elástico y lineal. Estas condiciones son cuando las temperaturas son bajas y la velocidad de aplicación de cargas es elevada.

### **2.2.1. Empleo de las Mezclas Asfálticas**

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



Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme:

1. La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
2. La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores se le denomina pavimento.

### **2.2.2. Clasificación de Mezclas Asfálticas:**

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas, siendo la clasificación más común de mezclas asfálticas en caliente y en frío.

#### **1. Por la temperatura de puesta en obra**

- **Mezclas asfálticas en Caliente:** Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150- 180 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

- **Mezclas asfálticas en Frío:** son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, Como una característica intrínseca, la tecnología en frío existente actualmente solamente es adecuada para carreteras de tráfico bajos y medianos. Esto es debido a que la resistencia mecánica de estas mezclas es menor que la de las mezclas en caliente. La razón que siempre se ha esgrimido es que las mezclas en frío, con los medios de compactación con que se cuenta, no alcanzan las mismas compacidades con lo que su resistencia mecánica a la transmisión de cargas es menor.

Por otro lado, el proceso mediante el que las mezclas en frío alcanzan sus propiedades finales, conocido como proceso de curado, es muy lento; lo que también va en contra de su interés en las aplicaciones de carreteras para intensidad de tráfico alto.

Ante las limitaciones apuntadas anteriormente, desde mediados de los años 90, se han hecho importantes esfuerzos para obviarlas y poner en el mercado sistemas en Frío útiles para carreteras de más alta intensidad de tráfico que en las que se aplican actualmente. Estos esfuerzos todavía no han pasado en el mejor de los casos de unas pruebas de puesta en obra que todavía no se han convertido en una realidad industrial.

Paralelamente, y puesto que el interés en la disminución de las temperaturas de extendido de las mezclas bituminosas sigue vigente, se han investigado otras alternativas que, técnicamente, se han denominado mezclas semicalientes y mezclas templadas.

## **2. Por fracciones de agregado pétreo empleado**

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

## **3. Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica**

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

## **4. Por el tamaño máximo del agregado pétreo**

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede a 10 mm.
- Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino

incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

### 5. Por la estructura del agregado pétreo

- Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable.
- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

### 6. Por la granulometría

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frio
	En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas ( $h < 6\%$ )
	Semicerradas ( $6\% < h < 12\%$ )
	Abiertas ( $h > 12\%$ )
	Porosas ( $h > 20\%$ )
Tamaño máximo del agregado (t máx)	Gruesas (t máx > 10 mm)
	Finas (t máx < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

**Tabla 2.1:** Clasificaciones de las mezclas asfálticas.

**Fuente:** KRAEMER C. et al. (2004). "Ingeniería de Carreteras" Vol. 1 y Vol. 2. McGraw Hill/ Interamericana de España S.A. España.

Este proyecto se enfocó en la clasificación según temperatura de mezclado, en la cual encontramos que existen mezclas asfálticas en caliente, en frío, últimamente, un nuevo tipo mezcla asfáltica templada

### **2.2.3. Propiedades de las Mezclas Asfálticas:**

Cada tipo de mezcla asfáltica tiene propiedades intrínsecas diferentes. Esto hace que sus campos de aplicación sean también diferentes. En un principio, no es posible proyectar una mezcla que satisfaga plenamente todas las propiedades, debido a que algunas de ellas son contrapuestas y porque la importancia de una u otras depende de la funcionalidad y estructura del firme.

Las principales propiedades de las mezclas bituminosas son las siguientes:

- **Estabilidad**

Es la capacidad de la mezcla asfáltica de soportar cargas y resistir las tensiones a las que se ve sometida, con unos valores de deformación tolerables. Es una representación empírica de la resistencia del material, combinación del rozamiento interno y la cohesión.

- **Resistencia a las deformaciones plásticas**

La aplicación de cargas a baja velocidad y altas temperaturas produce una acumulación de deformaciones de tipo plástico debido al comportamiento viscoelastoplástico de las mezclas asfálticas.

- **Resistencia a la fatiga**

A bajas temperaturas y altas velocidades el comportamiento de la mezcla asfáltica es fundamentalmente elástico, pero la repetición de cargas, generalmente muy inferiores a la de rotura, produce un agotamiento progresivo por fatiga del material. La fatiga se produce en un aumento de las deformaciones elásticas en superficie, y cuando llega a un avanzado estado de la misma se pueden observar agrietamientos generalizados denominados comúnmente piel de cocodrilo.

La determinación de la resistencia a la fatiga de una mezcla asfáltica se lleva a cabo en laboratorio sometido a las probetas a ensayos de carga repetida. Para diferentes deformaciones radiales impuestas se obtiene el número de aplicaciones de carga que conduce a la rotura del material.

- **Durabilidad**

La durabilidad comprende todas las características que conducen a la larga vida. Ellas son: resistencia del asfalto a endurecerse durante la operación de mezcla, resistencia al efecto abrasivo del tránsito, resistencia del pavimento a la acción destructiva del aire, agua y a los cambios de temperatura. El término también implica flexibilidad suficiente para resistir roturas bajo las aplicaciones de carga y sus repeticiones.

- **Resistencia al deslizamiento**

Las mezcla asfálticas empleadas en capas de rodadura deben proporcionar una resistencia al deslizamiento adecuada que debe mantenerse bastantes años. Para ellos es necesario que los áridos tengan un elevado coeficiente de pulimento acelerado y que la macro textura de las mezclas sea rugosa.

- **Impermeabilidad**

Las mezclas asfálticas de las capas superiores deben proteger la infraestructura frente a la acción del agua que cae sobre la calzada, es decir es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento.

## **Nuevo Tipo de Mezcla Asfáltica**

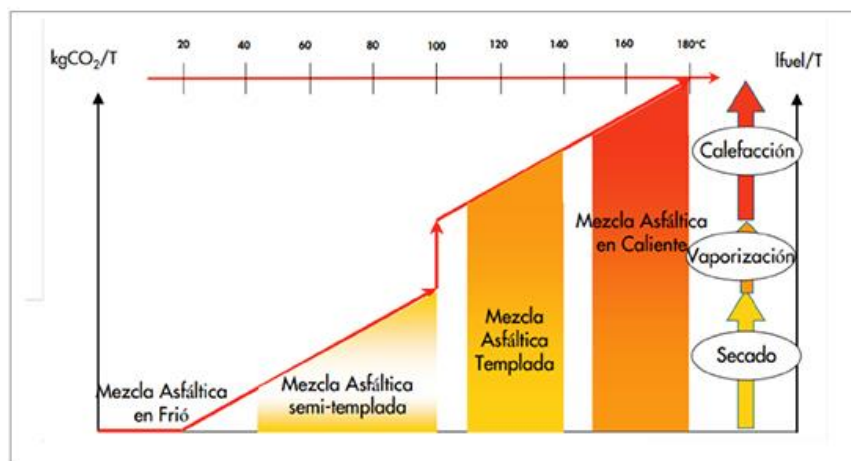
### **2.3. Mezclas Asfálticas Templadas:**

La reducción de las temperaturas de producción de mezclas asfálticas presenta ventajas ambientales importantes sobre emisiones, consumo de energía y exposiciones laborales.

La meta es conseguir una calidad adecuada de las mismas, a temperaturas de operación inferiores o a temperatura ambiente. Bajo estos criterios es necesario siempre evaluar

nuevas alternativas de trabajo que permitan obtener procesos más eficientes y rentables en los diferentes entornos en que se trabaja.

La Figura 2.2, muestra la clasificación de las mezclas asfálticas en función de la temperatura de mezclado en donde se clasifican las mezclas como: Mezclas Asfálticas en Frío, Mezclas Asfálticas Semi-Templadas, Mezclas Asfálticas Templadas y Mezclas Asfálticas en Caliente. De las mezclas mencionadas anteriormente, solo las Mezclas Asfálticas Templadas han demostrado que pueden lograr desempeños equivalentes a las Mezclas Asfálticas en Caliente, lo que no significa necesariamente que otro tipo de mezclas sean inviables para la construcción de buenos pavimentos asfálticos.



**Figura 2.2:** Clasificación de las Mezclas Asfálticas por su Temperatura de Fabricación

**Fuente:** Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Universidad Católica de Chile.

Una Mezcla Asfáltica Templada (MAT). Es elaborada con cemento asfáltico, agregado la cual es capaz de reducir las temperaturas de producción en un rango de entre 10°C a 75°C, estando por debajo de las convencionalmente empleadas, lo cual la hace potencialmente más eficiente.

Así mismo presenta una mejor adhesividad entre el asfalto y el agregado pétreo después de ser tendida y compactada conforme al procedimiento constructivo, presenta una mejor fuerza de cohesión entre partículas.

Ofrece beneficios económicos y ambientales, sin sacrificar la calidad del producto terminado, así como mejoras en las condiciones laborales del personal de obra, al ser posible iniciar su proceso de compactación entre 95<sup>a</sup> C a 97<sup>a</sup>C, generando disminución de la radiación térmica, además su facilidad de aplicación, por lo mencionado anteriormente el personal no inhala tantos gases producto de la combustión del asfalto a mayores temperaturas.

Esta forma de homogenizar tiene la finalidad de garantizar un revestimiento correcto del esqueleto granular, una mezcla homogénea y una compactabilidad adecuada durante el proceso de tendido y compactación.

La reducción de las temperaturas de producción de mezclas asfálticas presenta ventajas ambientales importantes sobre emisiones, consumo de energía y exposiciones laborales.

### 2.3.1. Tipo de Mezclas Asfálticas Templadas

MEZCLAS ABIERTAS TEMPLADAS	MEZCLAS ABIERTAS CERRADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granulometrías con alto contenido de huecos en mezcla</li> <li>• Pretenden mejorar las prestaciones de las mezclas abiertas en frío para la apertura inmediata al tráfico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granulometrías con bajo contenido de huecos, tipo AC G,S ó D</li> <li>• Módulos cercanos a las mezclas en caliente, con buena resistencia a la fatiga</li> </ul>

**Tabla 2.2:** Tipo de mezclas asfálticas templadas

**Fuente:** <http://es.linkedin.com/pub/daniel-andaluz-garcía/45/1a6/78b>

El uso de mezclas MAT trae una serie de ventajas en comparación con la producción de mezclas MAC, siendo las principales:

- Menos oxidación del asfalto
- Menor desgaste de los elementos mecánicos de la planta.
- Reducción de emisiones.

- Reducción del gasto energético de mezclado y compactación.
  - Ahorros de combustible.
  - Posibilidad de transportar mezcla por mayores distancias.
  - Posibilidad de introducir mayores contenidos de RAP.
  - Reducción en la exposición de los trabajadores a vapores generados en el proceso de fabricación de mezclas MAC.
  - La pavimentación se puede realizar con un clima más frío
  - Disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Reducción de en la producción de humos y olores de la fabricación y puesta en obra.

En los últimos años se han desarrollado diferentes técnicas para fabricación de mezclas MAT que incluyen desde modificaciones a las plantas de mezclado para espumar asfalto o agregar diversos tipos de aditivos. A este grupo de técnicas se le ha agregado una más en los últimos años la cual utiliza “Emulsión Súper- Estabilizada”, emulsiones asfálticas capaces de ser estables al transporte y al almacenamiento durante largos periodos de tiempo. Este tipo de emulsiones se producen con una formulación especial otorgándole mayor estabilidad lo cual en definitiva permite producir mezclas asfálticas a temperatura promedio entre de 100 a 105 °C. La patente de esta emulsión pertenece a la empresa Repsol de España.

### **2.3.2. El Proceso para la Fabricación de Mezcla Asfáltica Templada:**

- Calentamiento del árido grueso.
- Envuelta del árido grueso por la totalidad del betún, a la temperatura habitual en función de sus características.
- Adición de la arena, con la humedad de que disponga.
- Adición de agua, en una cantidad suficiente para conseguir la auto expansión del betún, lo que provoca un aumento de la superficie específica del ligante y una disminución de la viscosidad aparente. Para conseguir de esta forma una mezcla perfecta entre el árido y el betún.



El intercambio térmico que se produce en todas las fases, origina la condensación del agua residual, que se dispersa en la masa de betún y asegura la manejabilidad final de la mezcla.

De esta forma se consigue una mezcla que presenta el mismo aspecto que una mezcla bituminosa en caliente pero con una temperatura final inferior a 140°C.

Las mezclas bituminosas templadas tienen como objetivo fundamental reducir la emisión de gases nocivos, así como el consumo de energía en los procesos de fabricación y puesta en obra.

Como ya se he comentado, el empleo de estas mezclas permite una gran reducción del consumo de energía para la producción de las mezclas, a modo de ejemplo y para tener un orden de magnitud se establece que el consumo típico de fuel para una producción de una tonelada de mezcla en caliente se sitúa alrededor de los 6-7 kg, de los que aproximadamente el 30-35% son pérdidas, el 30-25% corresponden al calentamiento de los áridos y el 15% restante a la evaporación del agua. Así mismo para un fuel medio ese consumo representa una emisión de 0.022-0.024 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada producida. Por el contrario, para el caso de las mezclas templadas, se tiene que para la producción de una tonelada de mezcla el consumo de combustible es de 2.5-3 kg, lo que representa una emisión de 0.016-0.018 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada producida.

Con esta reducción de la temperatura, se consigue reducir la emisión de gases nocivos, así como el consumo de energía en los procesos de fabricación y puesta en obra.

Se estima que el empleo de estas mezclas produce una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de hasta el 40% así como una reducción del combustible empleado durante la fabricación de hasta el 35%.

Indudablemente el empleo de estas mezclas templadas, lleva consigo una serie de ventajas, especialmente en durante el proceso de fabricación, que se enumeran a continuación.

### **Durante el proceso de Fabricación**

- **Reducción de emisiones durante el proceso de fabricación.** Se estima que el empleo de las mezclas bituminosas templadas producen una reducción de las emisiones del 30-40% de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, del 50% de los compuestos orgánicos volátiles (VOCV), del 10-30% del CO, del 60-70% en NO<sub>x</sub> y del 20-25% del polvo, en comparación con las mezclas bituminosas en caliente.
- **Reducción de consumo de combustibles.** Se prevé una reducción hasta el 50%, en los procesos de fabricación de mezclas templadas, si bien es cierto que no existen un gran número de datos que apoyen este supuesto.

### **Durante el transporte y la puesta en obra**

- **Reducción de la exposición de los operarios.** Los ensayos realizados muestran unas reducciones de entre el 30 y el 50% de los aerosoles/humos aromáticos policíclicos emitidos por la mezcla. Así mismo se reduce el riesgo de quemaduras en los operarios durante el proceso de manipulación de la mezcla.
- **Menor pérdida de temperatura.** Menor pérdida de temperatura durante la fase de transporte, lo que permite la posibilidad de realizar trayectos más largos o con tiempos más prolongados, presentando a su llegada a obra la manejabilidad necesaria para su puesta en obra.
- **Mayor tiempo para la compactación.** Al producirse una menor pérdida de temperatura, se dispone de más tiempo para compactar.
- **Eliminación de empleo de disolventes.** No se requiere el empleo de disolventes sobre la caja del camión para evitar la adherencia de material, así mismo se evita en empleo de disolvente para la limpieza de los utensilios empleados durante la obra.
- **Posible aumento del RAP (%).** Aún no soportado con estudios sobre el tema, pero se estima que los empleos de mezclas templadas permitirán un aumento en el porcentaje de RAP en los reciclados.

Por lo tanto parece claro que, el futuro de las mezclas bituminosas pasa por el empleo de este tipo de productos que permiten la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, así como un menor coste energético y económico durante su fabricación y puesta en obra. Sin embargo, aún es necesario seguir investigando y realizando tramos de prueba con estas mezclas para conocer su comportamiento a lo largo de los años, “sufriendo” las solicitaciones del tráfico real, así como de las inclemencias del tiempo para llegar a sustituir totalmente a las mezclas tradicionales.

### **2.3.3. Control de Fabricación:**

- Temperaturas de los materiales
- Secuencia de introducción de los materiales
- Humedad final de la mezcla
- Control de la temperatura final de la mezcla
- Definición de la fórmula de trabajo.

### **2.3.4. Control de Obra:**

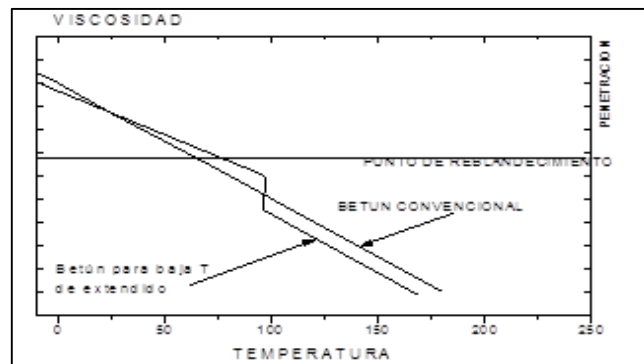
- Temperaturas de los materiales
- Secuencia de introducción de los materiales
- Humedad final de la mezcla
- Control de la temperatura final de la mezcla
- Definición de la fórmula de trabajo

### **2.3.5. Betunes para Mezclas Templadas**

Como se ha dicho anteriormente, las mezclas templadas se fabrican y ponen en obra a temperaturas comprendidas entre 120 y 140°C. Debido a las temperaturas que se utilizan, requieren o bien procedimientos especiales de fabricación de mezclas o bien betunes especiales.

En cuanto a los procedimientos especiales de fabricación, se han propuesto sistemas de dobles envueltas combinados con la optimización de la dureza de los betunes.

Estos betunes se caracterizan porque a temperaturas de servicio presentan unas propiedades muy similares a las de los betunes convencionales, mientras que a altas temperaturas presentan una viscosidad menor. En la figura 1 se explica conceptualmente cómo se comportan este tipo de betunes.



**Figura 2.3:** Concepto de betunes para mezclas templadas.

**Fuente:** Ligantes para mezclas de baja temperatura de extendido. Antonio Páez Dueñas

Como se ha dicho anteriormente, las mezclas templadas se fabrican y ponen en obra a temperaturas comprendidas entre 105 y 140°C. Debido a las temperaturas que se utilizan, requieren o bien procedimientos especiales de fabricación de mezclas o bien betunes especiales.

En cuanto a los procedimientos especiales de fabricación, se han propuesto sistemas de dobles envueltas combinados con la optimización de la dureza de los betunes.

### Mezclas Templadas con Betún: Análisis de su balance energético

Balance Energético	Mezcla Convencional	Mezcla Templada
	Kcal/Tn	Kcal/Tn
Evaporación del agua	28,5	5,7
Secado de los áridos	28,405	20,93
Calentamiento de los áridos	3,75	3,75
BALANCE Global	60,655	30,38
% BALANCE Global	100	50

**Tabla 2.3:** Mezclas Templadas con Betún: Análisis de su balance energético

**Fuente:** Mezclas Asfálticas con Betún, Experiencia de Eiffage. Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC) 7 y 8 de Julio de 2009

### Mezclas Templadas con betún: Balance medioambiental

Consumos y Emisiones		Unidades	Tipos de Mezclas	
			Convencional	Templada
Energía consumida	Gas natural	MJ/Tn	102,24	45,99
	Gasoil		0	0
	Electricidad		3,63	3,13
Emisiones de gases	CO2	Kg/Tn	5,02	1,78
	CO2		37	37
	Gases no metánicos		4,7	2,2
	NOx		1,5	0,4
	CH4		0,6	0,9

**Tabla 2.4:** Mezclas Templadas con betún: Balance medioambiental

**Fuente:** Mezclas Asfálticas con Betún, Experiencia de Eiffage. Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC) 7 y 8 de Julio de 2009

## **2.4. Tipos De Agregados o Áridos Utilizados en las Mezclas Asfálticas**

### **2.4.1. Definición de Áridos o Agregados:**

#### **2.4.1.1. Áridos o Agregados**

El árido es el material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, es un conjunto de partículas minerales de distintos tamaños que proceden de la fragmentación natural o artificial de las rocas. Los áridos pueden ser grueso, fino y filler. Los cuales constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues allí ocupan un volumen muy importante, por ejemplo el volumen de agregados en el concreto asfáltico es de 92% al 96%.

#### **2.4.1.2. Agregado Gruesos**

Los agregados gruesos son partículas grandes, según la clasificación de suelos SUCS, define al agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz # 4. Normalmente son obtenidos de gravas naturales de lechos de los ríos, rocas trituradas o de gravas trituradas y zarandeadas.

#### **2.4.1.3. Forma del Agregado Grueso**

Las exigencias de forma para el agregado grueso varían ligeramente, con un mismo tráfico, para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides, evitando o restringiendo las formas planas, alargadas y en forma de lascas, ya que modifican las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas. Existen restricciones en las normativas de materiales para pavimentos en donde se restringe el uso de partículas con estas formas no deseadas, por medio de los índices de lascas y de agujas de las distintas fracciones del árido grueso.

#### **2.4.1.4. Agregado Fino**

Los agregados finos, presentan tamaños menores llega a ser según la clasificación de suelos SUCS, el total de agregado pétreo que pasa el tamiz # 4 y queda retenido en el tamiz # 200. son obtenidos de arena natural proveniente de las fracciones finas, obtenidas por zarandeo en las operaciones de trituración de rocas o de gravas trituradas.

**Arena:** La arena se clasifica en arena natural, arena artificial, polvo de trituración y arena especial.

La arena natural se clasifica, por el lugar de excavación: arena de río arena de cantera y arena de mar.

La arena artificial es producida por la trituración de roca o piedra de canto rodado.

#### **2.4.2. Filler:**

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200.

El fíller o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mástico para mezclas asfálticas.

El filler aumenta en muchos casos la estabilidad y la calidad de la mezcla, esto con la finura que posee llega a ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de vacíos de la mezcla evitando un aumento pronunciado de la cantidad de ligante asfáltico, Se incrementa la durabilidad de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular evitando el acceso del agua al interior, y por otro lado debido a que algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el ligante asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el ligante asfáltico.

Descripción	Tamizes	Observación o Aclaración
Agregado Grueso	1"	Total de agregado que queda retenido hasta tamiz #4
	3/4"	
	1/2"	
	3/8"	
	N° 4	
Agregado Fino	N° 4	Total de agregado pétreo que pasa el tamiz # 4 y queda retenido en el tamiz # 200.
	N° 8	
	N° 16	
	N° 40	
	N° 80	
	N° 200	
Filler	N° 200	Total que pasa el tamiz #200.

**Tabla 2.5:** Planilla de clasificación de agregados según SUCS

**Fuente:** Propia

### 2.4.3. Ensayos de Caracterización de Agregados

Para realizar la respectiva caracterización de los agregados se realiza una serie de ensayos a continuación se enuncian los más importantes.

- **Granulometría**

La granulometría es la medición de los agregados de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

El método de determinación granulométrico más sencillo es obtener las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado, que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices .pero para una medición más exacta se utiliza un granulométrico laser, cuyo rayo difracta en las partículas para poder determinar su tamaño.





**Figura 2.4:** Serie de Tamices para la realización de granulometría

**Fuente:** Propia

- **Desgaste de los ángeles**

En los agregados gruesos una de las propiedades físicas de importancia es la resistencia a la abrasión o desgaste de los ángeles.

La forma irregular de las partículas concentra tensiones internas producto de condiciones ambientales y sollicitaciones a las que están sometidas.

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los pétreos mayores a 2.5mm de densidad neta entre 2.000 y 3.000kg/m<sup>3</sup> mediante la máquina de los ángeles.

- **Durabilidad de agregados**

Es un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos, del tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica que se describen.

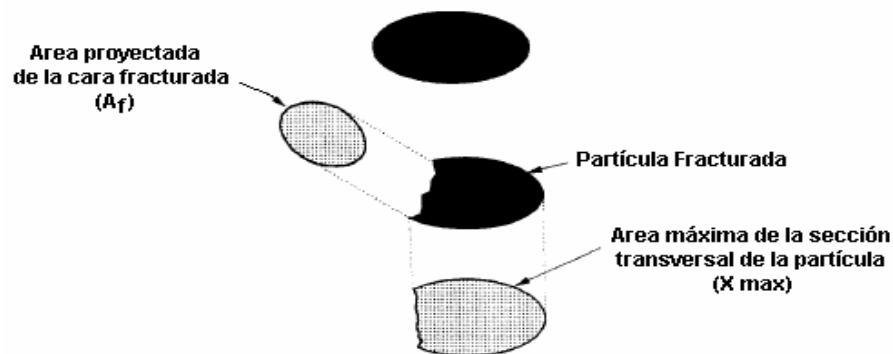
Fue desarrollado para permitir la precalificación de los agregados, propuestos para uso en la construcción de vías. Básicamente, el ensayo establece una resistencia de los agregados a generar finos, cuando son agitados en presencia de agua.

- **Ensayo caras fracturadas**

Una superficie angular, áspera o quebrada de una partícula de agregado, formada por trituración por medios artificiales o por la naturaleza.

Una cara será considerada fracturada, solo si tiene un área proyectada al menos tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal) de la partícula y la cara tiene bordes cortantes y bien definidos, esto excluye pequeños (ver Figura 1).

Nota: Una cara será considerada “Una cara fracturada” únicamente si tiene:  
 $A_f = 0.25 X_{max}$



**Figura 2.5:** Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada

**Fuente:** Porcentaje de caras fracturas en los agregados I.N.VE -22-07

- **Chatas y alargadas**

**Partícula Chatas** – Partícula cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a  $3/5$  de la dimensión media de la fracción.

**Partícula larga** – Partícula cuya dimensión máxima (largo) es superior a  $9/5$  de la dimensión media de la fracción.

- **Equivalente de arena**

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

## **Uso y significado**

- Este ensayo produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra de suelo o agregado fino.
- Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena, para limitar la cantidad admisible de finos arcillosos en un agregado.
- Este método de ensayo permite determinar rápidamente, en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante la producción o la colocación.

## **2.5. Trabajabilidad y Rendimiento**

### **2.5.1. Trabajabilidad:**

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con una mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada al modificar los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen alto porcentaje de agregado grueso tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva viscosa, al dificultar su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares.

Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas de manera apropiada. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de la trabajabilidad, sí tiene algún efecto especial sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla. El cuadro cita algunas causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula grande.	Superficie áspera difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso.	Difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla.	Agregado sin revestir, mezcla poco durable, superficie áspera difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio.	La mezcla se desplaza bajo la compactadora, permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla blanda altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

### 2.5.2. Rendimiento:

En materiales se refiere, al volumen de obra de cada concepto que un material puede producir por unidad de medida base. En otras palabras un rendimiento es como se dice lo que te “rinde”, es decir para cuanto te alcanza, es decir cuántas unidades de material voy a necesitar para hacer una unidad de elemento. En el caso del asfalto existe un rango entre 90 y 115lts. Que rinden para la fabricación de un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica suelta óptima para carreteras de alto tráfico vehicular.

## 2.6. Ensayo de Marshall

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

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



**Figura 2.6:** Equipo de Marshall

**Fuente:** [www.equipomarsahall.ar](http://www.equipomarsahall.ar)

Fue desarrollado por el US Corps of Engineers. Las dimensiones de la muestra son 4" (10 cm) de diámetro por 2.5" (6.3 cm) de altura. Sobre esta muestra se hace el análisis de densidad – vacíos y estabilidad – flujo. La máxima resistencia que la muestra puede desarrollar es la estabilidad Marshall.

### **2.6.1. Estabilidad de la Mezcla (Lb)**

La estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica es la carga máxima en libras que soporta una probeta aproximadamente de 6,35cm de altura y 10cm de diámetro cuando se la ensaya a temperatura dada cargándola en sentido diametral a una velocidad de 5,8cm/minuto. Es la resistencia al desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica. La estabilidad es la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones provocadas por cargas impuestas. Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamiento y corrimiento u ondulaciones), la estabilidad depende de la fricción interna y de la cohesión.

Normalmente para medir la estabilidad de una mezcla asfáltica o su resistencia al desplazamiento lateral se emplea generalmente diversos métodos pero en este caso de estudio se usa el método Marshall.

La estabilidad máxima en una masa de agregados no se alcanza hasta que la cantidad de asfalto que recubre todas las partículas ha llegado a un valor crítico.

Un porcentaje adicional del mismo actúa como lubricante más que como ligante, reduciendo la estabilidad de la mezcla pero aumentando su durabilidad.

### **2.6.2. Fluencia de la Mezcla**

Es la deformación total expresada en centésimas de pulgada 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.

Los valores de fluencia se incrementan, con el aumento de contenido de asfalto en la mezcla y viceversa.

El flujo es la deformación que ocurre en el instante de la rotura, y por tanto una medida de la plasticidad y capacidad de fluidez de la mezcla. Esta deformación se considera en la misma dirección de aplicación de carga.

### 2.6.3. Relación Estabilidad -Fluencia

Para entender que es una mezcla buena o mala, se recurre al concepto de rigidez analizando de una manera combinada los parámetros de estabilidad y flujo. Existe la falsa idea en nuestro medio de que una mezcla de alta estabilidad es en general buena, lo que lleva de hecho a fortalecer la idea de fabricar mezclas muy rígidas, asunto que favorece a la resistencia a la deformación plástica, pero a costa de una debilidad al fenómeno de la fatiga.

Para el método Marshall, las especificaciones establecen un valor mínimo de estabilidad, más no definen un máximo, en consecuencia es frecuente ver que en muchos casos los diseños de mezclas asfálticas se toman valores extremadamente altos de estabilidad, sin tomar en cuenta que pueden llegar a ser perjudiciales, la estabilidad es un índice de la mezcla que indica rigidez, que al ser puesto en la estructura del pavimento, este será fácilmente quebradizo bajo las cargas del tránsito y susceptible a los agentes del intemperismo, degenerándose completamente hasta el punto de perder la capa asfáltica.

#### Criterios de diseño de mezclas Marshall

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

**Tabla 2.6:** Planilla de criterios de diseño Marshall

**Fuente:** Criterios del instituto del asfalto U.S.A para el diseño Marshall

#### **2.6.4. Diseño Marshall de Mezclas Asfálticas**

##### **Descripción:**

A continuación se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño Marshall de Mezclas. El procedimiento completo y detallado que debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T245 (ASTM D 1559).

- **Preparación para efectuar los procedimientos Marshall**

Como es conocido, diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características, que tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método, entonces, es determinar las cualidades que se necesita en una determinada mezcla asfáltica, y posteriormente seleccionar el tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

- **Selección de las muestras de material**

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentos. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple, los datos de los procedimientos de diseño de la mezcla determinan la "receta" para la elaboración de la mezcla final usada en el proceso de pavimentos. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en laboratorio tienen características idénticas a los usados en el producto final.

- **Preparación del agregado**

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va ser usado debe ser ya conocida con el propósito de establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, el propósito de identificar claramente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico



Con la finalidad de preparar una serie de briquetas que diferentes que tengan diferentes contenidos de asfalto, se prepara una dosificación por el método de tanteo, en función de una faja de trabajo que se adecue al proyecto, y de una granulometría conocida de los agregados disponibles (Grava de  $\frac{3}{4}$ , Grava de  $\frac{3}{8}$  y Arena Natural).

Como indica el nombre del método, se tantea con diferentes porcentajes de agregado, hasta que se encuentre una combinación que se adecue de mejor manera posible a la faja de trabajo.

Sabiendo que se tiene que elaborar briquetas con un peso de 1200 g; se determina el contenido de asfalto en peso equivalente a un porcentaje del peso total de la briqueta.

Conociendo el peso del agregado que tiene que ocupar cada briqueta por la diferencia en peso entre el total de la briqueta y el peso del asfalto, se separa una dosificación en pesos retenidos, que aporta cada tamiz.

Se prepara un número determinado de muestras de agregado, por contenido de asfalto, para elaborar un punto en la curva de dosificación Marshall, y se separa cada uno en bolsas o platos correctamente identificados.

## **2.7. Marco Normativo**

### **2.7.1. Caracterización De Los Materiales Asfálticos**

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

1. Carácter termoplástico: por acción de la temperatura su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de "mojar" y envolver los áridos. Al enfriarse debe adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.
2. 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.
3. Resistir al envejecimiento frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo.

A continuación se expone muy brevemente los ensayos más usuales de caracterización del asfalto.

### **Ensayo de viscosidad**

Consiste en determinar el tiempo en segundos que demora en fluir 60 ml de muestra, a través de un orificio calibrado, medido bajo condiciones cuidadosamente controladas. El tiempo obtenido se corrige por un factor que depende de la abertura del orificio, el cual es reportado como la viscosidad de la muestra a la temperatura de ensayo.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método ASTM E-102.

### **Ensayo de penetración**

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un asfalto, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25°C, que la aguja está cargada con 100 gr y que la carga se aplica durante 5 seg. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. Es evidente que cuanto más blando sea el asfalto mayor será la cifra que indique su penetración.

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D5 - AASHTO T49-97).

### **Ensayo de punto de inflamación**

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el ligante asfáltico se inflama

y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

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

### **Ensayo de peso específico**

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del asfalto que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando este se mide a temperaturas elevadas. Se emplea también como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso especificado de 1.05 significa que el material pesa 1.05 veces lo que pesa el agua a temperatura fijada. Todos los líquidos y la mayor parte de los sólidos sufren cambios de volumen cuando varía la temperatura. Se expande cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. Para fijar condiciones determinadas aplicables a un valor dado del peso específico, debe indicarse la temperatura del material y la del agua. Así por ejemplo P.E. a 25/25 °C indica que la determinación se ha hecho con ambos materiales a una temperatura de 25° C.

El peso específico del asfalto se determina normalmente por el método del picnómetro, descrito en los métodos ASTM D-70.

### **2.7.2. Comparación de las Especificaciones de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México) vs Planta de Asfaltos GDF**

En la siguiente tabla se muestra una comparación de la mezcla templada contra la mezcla caliente, dando a conocer que la mezcla templada tiene mayor estabilidad, que la mezcla caliente, sin embargo se puede observar que ambas mezclas tienen similitud en las demás pruebas; Esto nos da un mejor panorama, que es posible fabricar mezclas con menor temperatura, así reducimos el impacto ambiental y obtenemos una mezcla con la misma calidad que la mezcla en caliente.

PRUEBAS	Mezcla Templada	Mezcla Caliente	
	PLANTA DE ASFALTO GDF	NORMAS SCT $\sum L < 10^6$	NORMAS SCT $\sum L < 10^7$
Numero de golpes en cada cara de la probeta		50	75
Estabilidad	mayor de 700 kgf	544 kgf	816 kgf
Flujo	menor 4,00 mm	2-4 mm	2-3,5 mm
Vacíos ocupados con aire	3-5%	3-5%	3-5%
Vacíos ocupados con asfalto	70-80%	65-78%	65-75%

**Tabla 2.7:** Comparación de las especificaciones de la SCT con respecto a la plata de Asfaltos del GDF.

**Fuente:** Control de calidad de las mezclas asfálticas calientes y templadas. Susana Méndez Olivera

## 2.8. Marco Histórico

### 2.8.1. Historia de las Mezclas Templadas

El concepto de mezcla templada surgió en Europa, tras la necesidad de una mezcla bituminosa que ofreciera economía de energía y tuviera el mismo desempeño de las mezclas bituminosas en caliente.

El desarrollo de esta tecnología en enfoque en la reducción de temperatura de mezcla y compactación empezó en 19+7, para cumplir con el protocolo de Kioto.

La alternativa también facilita el trabajo de pavimentación en los países en los que el invierno es muy riguroso, una vez que la mezcla templada enfría más lentamente que la mezcla caliente.

En 2002, especialistas de los Estados Unidos empezaron a investigar esta técnica que rápidamente sería adoptada por ese país. En Brasil, se empezó a investigar la tecnología, adaptándola para las condiciones de trabajo locales.

Los antecedentes cronológicos de las mezclas templadas se presentan a continuación:

1995: En 1995, Shell y KoloViedekke, iniciaron un programa en conjunto, para el desarrollo de un producto, y del proceso para la fabricación de mezcla agregado – asfalto a temperaturas más bajas; obteniendo mejores propiedades o equivalentes condiciones de desempeño, con relación a más mezclas tradicionales en caliente.

1999-2001: Reporte iniciales de las tecnologías de la mezcla templada en el Congreso Eurasphlt/Eurobitume, el foro Alemán de Bitumen, conferencia sobre pavimentos asfálticos en Sudáfrica, principalmente.

2004: Los estudios sobre mezclas tibias, son presentados en la convención Anual de la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico NAPA.

2004: La demostración de mezclas tibias, es presentada en el Mundo del Asfaltado.

La producción de las mezclas asfálticas templada se inició a principios de 2008, pero no fue hasta el 2010 con lo publicado en la gaceta oficial del Distrito Federal el 12 de octubre del mismo año. Que el calce dice lo siguiente: acuerdo por el que se establece el uso obligatorio de mezclas asfálticas templadas en los trabajos de pavimentación, repavimentación y bacheo, así como para otras obras que se realiza el gobierno del Distrito Federal.

En la siguiente gráfica se observa que ahora en la planta de asfaltos del gobierno del Distrito Federal, ha incrementado la producción de la mezcla asfáltica templada, ya que se ha comprobado en vialidades donde se ha empleado, que se ha tenido un desempeño satisfactorio en cuanto a resistencia y deformación, de la fecha indicada anteriormente hasta estos momentos, donde se ha estado monitoreando para verificar su eficiencia y durabilidad. En párrafos posteriores se hace mención de dichas vialidades y además se presenta un resumen fotográfico de las mismas.



**Figura 2.7:** La plata de asfaltos del Gobierno del D.F, historio estadístico a la fecha

**Fuente:** Control de calidad de las mezclas asfálticas calientes y templadas. Susana Méndez Olivera

## CAPÍTULO III

### RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

#### 3. Relevamiento de la información

##### 3.1. Criterios a Utilizarse

##### 3.1.1. Criterio de la Selección de Banco de Materiales

Mediante el análisis que se realizó de los bancos de materiales ubicados en la ciudad de Tarija se optó por utilizar el agregado perteneciente a planta de áridos “GARZÓN” debido a que es un material limpio y no contiene muchas impurezas en su composición además de ser el único banco que se encontraba produciendo varias cantidades de agregados suficientes para poder realizar un estudio más detallado.

La planta de agregados GARZÓN se ubica en la comunidad de San Mateo de la provincia Cercado departamento Tarija – Bolivia a una latitud 21.4708542 y longitud 64.7510372, la planta de agregados se encuentra junto al río Guadalquivir afluente de donde extrae la materia prima para su respectivo proceso de chancado, y así producir material granular de menores dimensiones, como ser: grava, gravilla y arena. La zona de explotación del agregado es apta, porque esta planta de agregados se encuentra cerca de la ciudad, con lo cual se podría decir que está ubicada en una de las zonas estratégicas del entorno a la ciudad, proporcionando una distancia de transporte reducida y menor costo del acarreo de los diversos productos de agregados.

<b>Departamento</b>	Tarija
<b>Provincia</b>	Cercado
<b>Ciudad</b>	Tarija
<b>Micro localización</b>	Comunidad de San Mateo
<b>Coordenadas</b> (obtenidas de google earth)	Latitud : 21,4708542 Longitud : 64,7510372



**Figura 3.1:** Vista satelital de la ubicación de la planta de agregados GARZÓN

**Fuente:** Google Earth

Se detalla la faja de trabajo a utilizarse en una mezcla asfáltica convencional utilizada en el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) la cual llega a ser compatible con la granulometría de la planta de trituración de áridos “GARZÓN”.

TAMIZ(mm/U.S. Standard)							
	25	19	12,5	4,75	2,360	0,425	0,075
TIPO DE MEZCLA	1"	3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 40	No. 200
Convencional	100-100	97-100	76-88	49-59	36-45	14-22	3-7

**Tabla 3.1:** Faja de trabajo de mezclas asfálticas

**Fuente:** Norma de especificación AASTHO



### 3.1.2. Criterio de la Selección de Cemento Asfáltico

Para este estudio se utilizó el cemento asfáltico 85-100 esto según criterios analizados de:

- Propiedades físicas
- De acuerdo al clima de aplicación
- Con respecto al tipo de pavimentado
- **Propiedades físicas**

**Estado físico:** Sólido a temperatura ambiente. Líquido a las temperaturas normales de manipulación, por encima de 100°C.

**Presión de vapor:** Insignificante a temperatura ambiente

- **De acuerdo al clima:**

Como se especifica en la planilla adjuntada la clasificación de cemento asfáltico de acuerdo al índice de penetración y respectivos climas.

- **Con respecto al tipo de pavimentado:**

Se utilizó para el pavimentado de carreteras de tráfico pesado y muy pesado

#### Uso de Cementos Asfálticos Graduados por Penetración en Funcional clima

Pavimentación	CLIMA				
	Muy cálido	Cálido	Moderado	Frio	Frigido
<b>AEROPUERTOS</b>					
Pistas de despegue	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Caminos auxiliares	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Aparcamientos	60-70	60-70	60-70	85-100	85-100
<b>CARRETERAS</b>					
Tráfico pesado y muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Tráfico medio ligero	40-50	60-70	60-70	85-100	120-150
<b>CALLES</b>					
Tráfico pesado y muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Tráfico medio ligero	40-50	60-70	85-100	85-100	120-150
<b>CAMINOS PARTICULARES</b>					
Industriales	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Comerciales Estac. Serv.	40-50	60-70	60-70	85-100	85-100
Residenciales	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
<b>APARCAMIENTOS</b>					
Industriales	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Comerciales	40-50	60-70	60-70	85-100	85-100
<b>ZONA DE RECREO</b>					
Pista de Tenis	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
Terrenos de juego	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
<b>BORDILLOS</b>	40-50	40-50	60-70	85-100	85-100

**Tabla 3.2:** Uso de Cementos Asfálticos Graduados por Penetración en Funcional clima

**Fuente:** Manual de asfalto USA y experiencia de aplicación en países de Europa y Sudamérica. Planilla que se adecua a nuestro país según manual de carreteras de la ABC

De acuerdo al análisis realizado se optó por utilizar este cemento asfáltico BETUNEL 85-100 por ser el que se adecua a la zona de estudio, esto establecido según el tipo de clima y para el pavimentado de carreteras de tráfico pesado además por ser el que se puede conseguir en nuestro medio.

### **3.1.3. Criterio de la Variación de la Temperatura en la Compactación de las Briquetas**

Se hará variar la temperatura en un rango de 10 grados debido a factores técnico-económicos, reduciendo la temperatura de 150 °C. de una mezcla convencional a una temperatura menor, de esta manera ahorrar en combustible para el calentamiento del material, así también disminuir el impacto de contaminación ambiental en el alto consumo energético, al disminuir la temperatura se tendrá una mezcla asfáltica templada que sea de mejor trabajabilidad, rendimiento y de menor peligro para los obreros en la manipulación por su alta temperatura, esto tomando como criterio base la bibliografía que nos establece que una mezcla asfáltica templada es aquella comprendida entre 105-140 °C.

En este estudio se hará variar la temperatura entre 110°C, 120°C, 130°C, y 140°C para analizar en cada temperatura su estabilidad y fluencia a través del diseño Marshall y verificar si estas cumplen según lo establecido en la norma AASTHO.

### **3.1.4. Criterio de Número de Ensayos a Realizarse**

La presente investigación se desglosara en los siguientes ensayos de caracterización del cemento asfáltico y áridos, además de realizar tres diseños Marshall para obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, y mediante ese punto obtener las mezclas asfálticas para proceder a su investigación haciendo variar las temperatura de compactación como así la proporción de agregados.

Para este estudio utilizaremos un nivel de confianza del 95% con un margen de error de 5%. A continuación se detalla de manera específica la cantidad de ensayos a realizar:

**Caracterización de los agregados:**

1. Granulometría.- Se realizara 3 granulometrías de agregados, es decir una granulometría para cada diseño, para poder utilizarlo en la dosificación de las briquetas.
2. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.- Se realizara 3 ensayos de porcentaje de caras fracturadas, para el agregado de 3/4 y 3/8 de cada una se sacara un promedio aritmético.
3. Porcentaje de partículas laminadas.- Se realizara 1 ensayo del porcentaje de partículas láminas tomando una muestra representativa para el agregado de 3/4 y de 3/8.
4. Porcentaje de partículas chatas y alargadas.- Se realizara 1 ensayo del porcentaje de partículas chatas y alargadas tomando una muestra representativa para el agregado de 3/4 y de 3/8.
5. Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles.- Se realizara 1 ensayo de los agregados de 3/4 y 3/8.
6. Equivalente de la arena y agregado fino.- Se realizara 3 ensayos de equivalente de la arena, de los cuales se sacara un promedio el cual será utilizado para los siguientes cálculos.
7. Peso específico y absorción del agregado grueso.- Se realizara 2 ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso de los agregados de 3/4y 3/8 para posteriormente utilizarlo en los cálculos siguientes.
8. Peso específico del agregado fino.- Se realizara 2 ensayos del agregado fino y posteriormente se sacara su promedio para utilizarlo en los cálculos.
9. Durabilidad método de los sulfatos: Se realizara 1 ensayo para el agregado grueso y uno para el agregado fino.
10. Límites de attemberg: se realizara un ensayo para el límite líquido.

**Caracterización del cemento asfáltico:**

1. Ensayo de peso específico.- Se realizara 2 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.
2. Ensayo de punto de inflamación.- Se realizara 3 ensayos del punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.
3. Ensayo de penetración.- Se realizara 3 ensayos de penetración del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
4. Ensayo de viscosidad SAYBOLT-FUROL.- Se realizará 3 ensayos de viscosidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
5. Ensayo de punto de ablandamiento anillo y bola.- Se realizara 2 ensayos del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio aritmético.

**Mezcla asfáltica para determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico:**

1. Dosificación.-Con la granulometría de los agregados se tiene una dosificación tentativa, con la cual se procederá a pesar 3 briquetas con diversos porcentajes de cemento asfáltico. En este caso se realizara 3 diseños, a continuación en las tablas se muestra las cantidades de briquetas según cada porcentaje para determinar los óptimos de asfalto en cada diseño.

**PLANILLAS DE DISEÑO MARSHALL PARA DETERMINAR EL  
PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO**

**DISEÑO MARSHALL 1**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Número de briquetas(Unidad)</b>	<b>VARIACIÓN DE PORCENTAJE de cemento asfáltico  (% de CA)</b>
DISEÑO 1	3	4,50%
	3	5,00%
	3	5,50%
	3	6,00%
	3	6,50%
	3	7,00%
TOTAL briquetas elaboradas	18	

**DISEÑO MARSHALL 2**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Número de briquetas(Unidad)</b>	<b>VARIACIÓN DE PORCENTAJE de cemento asfáltico  (% de CA)</b>
DISEÑO 2	3	4,50%
	3	5,00%
	3	5,50%
	3	6,00%
	3	6,50%
	3	7,00%
TOTAL briquetas elaboradas	18	

### DISEÑO MARSHALL 3

DESCRIPCIÓN	Número de briquetas(Unidad)	VARIACIÓN DE PORCENTAJE de cemento asfáltico (% de CA)
DISEÑO 3	3	4,50%
	3	5,00%
	3	5,50%
	3	6,00%
	3	6,50%
	3	7,00%
TOTAL briquetas elaboradas	18	

**Tabla 3. 1:** Número de briquetas según la variación de porcentaje de cemento asfáltico para encontrar el óptimo de asfalto del Diseño Marshall 1-2 y 3.

**Fuente:** Propia

2. Se realizarán 18 briquetas para cada uno de los 3 diseños, con diferentes porcentajes de cemento asfáltico 85-100 variando de 0,5% con respecto del porcentaje aproximado de cemento asfáltico calculado, de igual manera variara el porcentaje de agregados en la mezcla, del cual se obtendrá el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizar en los cálculos .

#### Detalle de la investigación:

1. Mezclas asfálticas templadas en estudio.- Se elaboraran 3 briquetas de mezclas asfálticas templadas variando la temperatura de mezclado y de compactación en 110°C, 120°C, 130°C y 140°C, fabricando 3 briquetas por cada temperatura, recordando que una mezcla templada esta entre el rango de 105°C y 140°C.

A continuación en las tablas se muestra la cantidad de briquetas de mezcla asfáltica templada según temperaturas especificadas para cada uno de los diseños.

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 1**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TEMPERATURA DE APLICACIÓN(T.C)
INVESTIGACIÓN 1	3	110,00
	3	120,00
	3	130,00
	3	140,00
TOTAL briquetas elaboradas	12	

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 2**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TEMPERATURA DE APLICACIÓN(T.C)
INVESTIGACIÓN 1	3	110,00
	3	120,00
	3	130,00
	3	140,00
TOTAL briquetas elaboradas	12	

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 3**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TEMPERATURA DE APLICACIÓN(T.C)
INVESTIGACIÓN 1	3	110,00
	3	120,00
	3	130,00
	3	140,00
TOTAL briquetas elaboradas	12	

**Tabla 3.3:** Cantidad de briquetas de mezclas asfálticas templadas de acuerdo a temperaturas 110-120-130 y 140°C.

**Fuente:** Propia

**Planilla general del total de briquetas fabricadas para este estudio:**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Diseño 1 para encontrar el óptimo de asfalto	18
Diseño 2 para encontrar el óptimo de asfalto	18
Diseño 3 para encontrar el óptimo de asfalto	18
Diseño de investigación 1	12
Diseño de investigación 2	12
Diseño de investigación 3	12
<b>TOTAL DE BRIQUETAS ELABORADAS PARA LOS ENSAYOS</b>	<b>90</b>

**Tabla 3.4:** Total de briquetas fabricadas para el estudio de la trabajabilidad y rendimientos de mezclas asfálticas templadas

**Fuente:** Propia

Una vez obtenido los 54 especímenes en total de los 3 diseños para determinar el porcentaje óptimo de cada uno de los diseños se realizara 12 briquetas para cada diseño de investigación en este caso siendo 3 diseños de obtendrá 36 briquetas. Siendo así la sumatoria de las 54 briquetas para encontrar el óptimo de asfalto más las 36 briquetas de investigación dándonos un total de 90 briquetas para realizar este estudio, lo cual esta expresado detalladamente en las tablas anteriores.

**3.2. Ubicación de la Fuente de los Materiales a Utilizarse:**

**Agregado pétreo.-** Para dicha investigación se utilizara agregados provenientes de la planta de trituración “GARZÓN” cuyos áridos se extraen del rio Guadalquivir en la comunidad de San Mateo, los cuales se verificara si son de buena calidad mediante los ensayos de caracterización de los áridos.



**Cemento asfáltico.-** El cemento asfáltico BETUMEN 85-100 es el único cemento asfáltico disponible en la ciudad de Tarija, el cual se utilizara en la presente investigación cuyo patrocinador es la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija.

N <sup>a</sup>	CARACTERÍSTICAS	DETALLE			EXIGENCIAS 85-100
		AASTHO	ASTM	NCh	
1	PENETRACIÓN MUESTRA ORIGINAL 25°C	T-49	D-5		85-100
2	VASO ABIERTO CLEVELAND PUNTO DE INFLACIÓN °C	T-48	D92	2338	>a 232°C
3	VISCOSIDAD SAYBOL FUROL A 135°C, SEG	T-72	D-102	-	> 85 seg.
4	SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO %	T-44	D-2042	2341	>a 99,00%
5	DUCTILIDAD 25°C	T-51	D-113	2342	>a 100cm
6	ENSAYO DE LA MANCHA HEPTANOXILOL, (20% MÁXIMO DE XILOL)	T-102	-	2343	(-) Negativo
7	ENSAYO EN HORNO PELÍCULA DELGADA	T-179	D-1754	2346	<a 1
8	PENETRACIÓN DEL RESIDUO DE PÉRDIDA, X CALENTAMIENTO % ORIGINAL	T-49	D-5	2340	>a 50
9	PORCENTAJE DE AGUA	T-55	-	-	<a 0,2

**Tabla 3.5:** Tabla de características del asfalto

**Fuente:** Norma de especificación AASTHO

### **3.3. Ensayo de los Agregados**

Se realiza la caracterización de los materiales pétreos para su respectivo control y verificación, de esta manera podremos conocer el comportamiento en obra de cada material a utilizar.

#### **3.3.1. Granulometrías**

Primeramente se efectúa un muestreo para el agregado grueso mediante el cuarteo que consiste en colocar la muestra en separador para obtener y una muestra representativa que abra que el mayor número de partículas

La muestra escogida de agregado grueso se coloca en una bandeja para determinar la masa de la bandeja y muestra

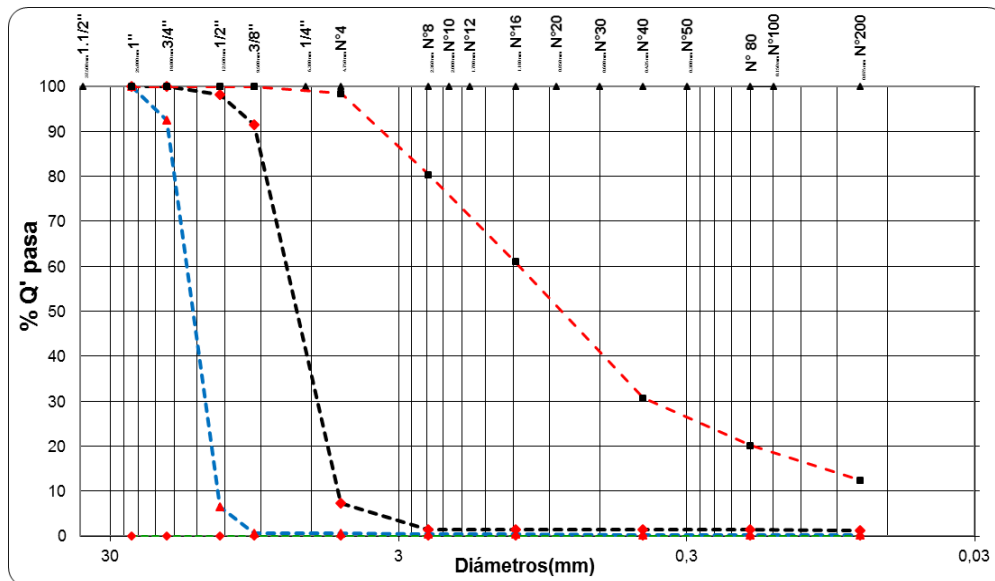
Se toma la muestra se coloca sobre los tamices una 1plg.,  $\frac{3}{4}$ '' 1/2'', 3/8'', N°4, N°8, N°10 N°16, N°40, N°80 y N°200, inmediatamente con movimientos circulares facilitamos que las partículas puedan retenerse o pasar cada uno de los tamices. En este caso se realizó el ensayo de 3 granulometrías diferentes mostradas a continuación con sus respectivas planillas y gráficas de la curva granulométrica.

## GRANULOMETRÍA 1

Peso Total Seco	5086,0 gr		4550,0 gr		500,0 gr	
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón	
Nº	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"	385,0	92,4	0,0	100,0	0,0	100,0
1/2"	4755,0	6,5	82,0	98,2	0,0	100,0
3/8"	5055,0	0,6	390,0	91,4	0,0	100,0
Nº 4	5058,0	0,6	4215,0	7,4	8,0	98,4
Nº 8	5063,0	0,5	4482,0	1,5	98,1	80,4
Nº 16	5068,0	0,4	4486,0	1,4	194,8	61,0
Nº 40	5070,0	0,3	4487,0	1,4	346,5	30,7
Nº 80	5072,0	0,3	4488,0	1,4	399,0	20,2
Nº 200	5074,0	0,2	4490,0	1,3	437,7	12,5

**Tabla 3.6:** Tabla de Granulometría 1

**Fuente:** Propia



**Figura 3.2:** Curva Granulométrica 1

**Fuente:** Propia

## GRANULOMETRÍA 2

Peso Total Seco	6272,0 gr		3895,0 gr		500,0 gr	
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón	
Nº	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"	415,0	93,4	0,0	100,0	0,0	100,0
1/2"	5778,0	7,9	15,0	99,6	0,0	100,0
3/8"	6178,0	1,5	378,0	90,3	0,0	100,0
Nº 4	6215,0	0,9	3600,0	7,6	4,5	99,1
Nº 8	6250,0	0,4	3836,0	1,5	91,2	81,8
Nº 16	6256,0	0,3	3852,0	1,1	190,2	62,0
Nº 40	6260,0	0,2	3860,0	0,9	330,0	34,0
Nº 80	6262,0	0,2	3866,0	0,7	400,0	20,0
Nº 200	6266,0	0,1	3875,0	0,5	435,5	12,9

Tabla 3.7: Tabla de Granulometría 2

Fuente: Propia

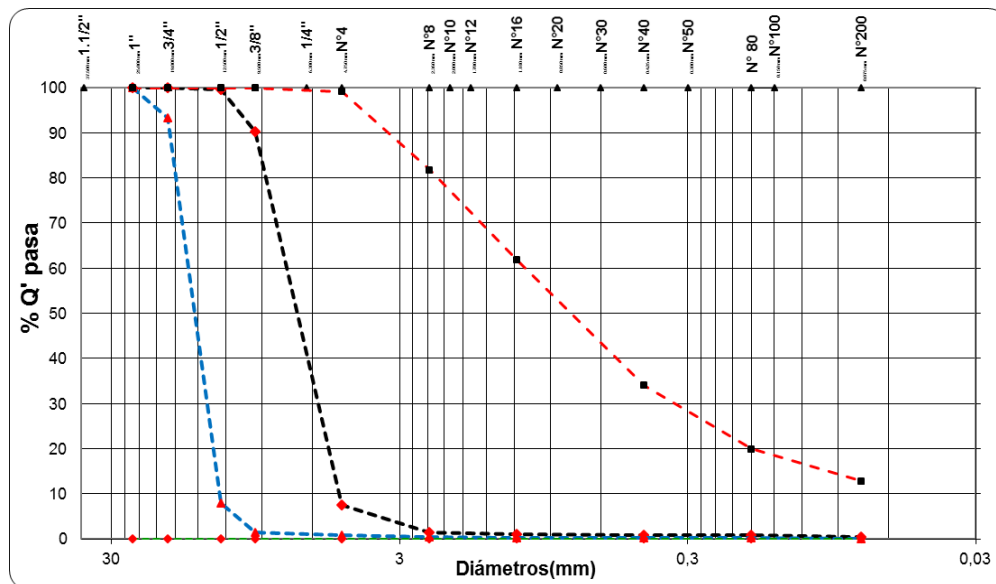


Figura 3.3: Curva Granulométrica 2

Fuente: Propia

### GRANULOMETRÍA 3

Peso Total Seco	5822,0 gr		4000,0 gr		500,0 gr	
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón	
Nº	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"	396,0	93,2	0,0	100,0	0,0	100,0
1/2"	5473,0	6,0	192,0	95,2	0,0	100,0
3/8"	5775,0	0,8	272,0	93,2	0,0	100,0
Nº 4	5812,0	0,2	3740,0	6,5	11,4	97,7
Nº 8	5814,0	0,1	3980,0	0,5	98,5	80,3
Nº 16	5816,0	0,1	3984,0	0,4	201,2	59,8
Nº 40	5818,0	0,1	3992,0	0,2	345,5	30,9
Nº 80	5818,0	0,1	3992,0	0,2	402,2	19,6
Nº 200	5819,0	0,1	3996,0	0,1	440,1	12,0

Tabla 3.8: Tabla de Granulometría 3

Fuente: Propia

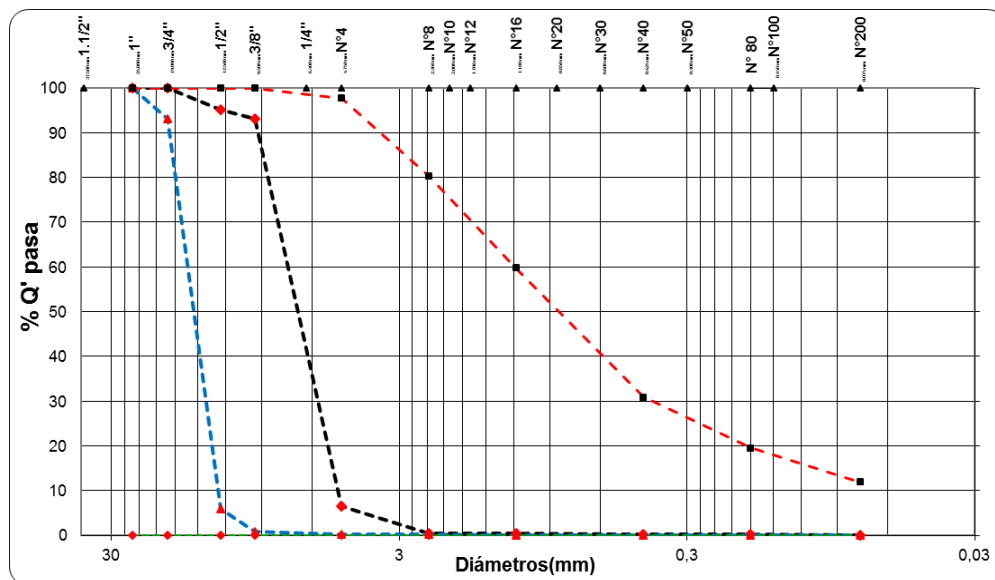


Figura 3.4: Curva Granulométrica 3

Fuente: Propia

### 3.3.2. Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados (Astm D5821-959)

**Objetivo.-** Este método permite determinar el porcentaje, en peso de una muestra de agregado grueso con una, dos o más caras fracturadas.

Equipo.-

- Balanza de 5 kg. Y sensibilidad al gramo
- Tamices
- Partidor de muestras
- Espátula

#### Procedimiento:

Se separa por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37.5 mm y 9.5 mm (1½" y 3/8"). Descartar el resto.

Esparcir la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula.

Separar con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas . Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.



**Fotografía 3.1:** Apartado de las partículas fracturas, canto rodado, laminadas y alargadas.

**Fuente:** Propia

**Porcentaje de partículas con caras fracturadas:**

Ensayo n°	Lecturas		
	1	2	3
Ensayo n°	1	2	3
peso total (grs.) (a)	1000	1500	1000
Peso retenido tamiz n° 8 (grs.) (b)	798	1179	789
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	202	321	211
% Caras fracturadas = (b/a)*100	79,80	78,60	78,90

**Tabla 3.9:** Porcentaje de partículas con caras fracturadas Grava 3/4

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 79,1\%$$

Ensayo n°	Lecturas		
	1	2	3
Ensayo n°	1	2	3
Peso total (grs.) (a)	1000	1300	1110
Peso retenido tamiz n° 8 (grs.) (b)	765	1005	851
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	235	295	259
% caras fracturadas = (b/a)*100	76,50	77,31	76,67

**Tabla 3.10:** Porcentaje de partículas con caras fracturadas Gravilla 3/8

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 76,8\%$$

### 3.3.3. Laminaridad

#### Porcentaje de partículas laminadas para agregado de 3/4

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Laminares (gr)	% Retenido Partículas Laminares (gr)
Agregado de 3/4"	1000	32	3,2
Peso Total de la Muestra	1000		
(%) Total de Partículas Laminares (Máximo 15%)			3,2

**Tabla 3.11:** Porcentaje de partículas laminadas para agregado 3/4

**Fuente.** Elaboración propia

Porcentaje de partículas laminadas = 3,2%

#### Porcentaje de partículas laminadas para agregado de 3/8

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Laminares (gr)	% Retenido Partículas Laminares (gr)
Agregado de 3/8"	1000	55,2	5,52
Peso Total de la Muestra	1000		
(%) Total de Partículas Laminares (Máximo 15%)			5,52

**Tabla 3.12:** Porcentaje de partículas laminadas para agregado 3/8

**Fuente.** Elaboración propia

Porcentaje de partículas laminadas = 5,52%



### Partículas chatas y alargadas:

Las partículas planas y alargadas son definidas respectivamente, como aquellas partículas cuya dimensión última es menor que 0.6 veces su dimensión promedio y aquellas que son mayores 1.8 veces la dimensión promedio. Para el propósito de esta prueba, la dimensión promedio se define como el tamaño medio entre las dos aberturas 1" a 3/4", 3/4" a 1/2", 1/2" a 3/8", etc. entre las que los agregados son retenidos al ser tamizados.

### Procedimiento:

Las partículas planas pueden ser separadas rápidamente seleccionando visualmente y viendo que cumplan con la teoría respectiva.

El porcentaje por peso de las partículas planas y alargadas se le designa con el nombre de índice de aplanamiento e índice de alargamiento.

### Porcentaje de partículas chatas y alargadas para agregado de 3/4

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Laminares (gr)	% Retenido Partículas Laminares (gr)
Agregado de 3/4"	1000	40,1	4,01
Peso Total de la Muestra	1000		
(% ) Total de Partículas Laminares (Máximo 15%)			4,01

**Tabla 3.13:** Porcentaje de partículas chatas y alargadas para agregado 3/4

**Fuente.** Elaboración propia

Porcentaje de partículas laminadas = 4,01%

### Porcentaje de partículas chatas y alargadas para agregado de 3/8

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Laminares (gr)	% Retenido Partículas Laminares (gr)
Agregado de 3/8"	1000	25,6	2,56
Peso Total de la Muestra	1000		
(% ) Total de Partículas Laminares (Máximo 15%)			2,56

**Tabla 3.14:** Porcentaje de partículas chatas y alargadas para agregado 3/8

**Fuente.** Elaboración propia

Porcentaje de partículas laminadas = 2,56%

#### 3.3.4. Abrasión del Agregado Grueso Máquina de los Ángeles (ASTM C-131)

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

##### Equipo.-

- Balanza A  $\pm$  0.1gr.
- Horno.
- Tamices (3/4", 1/2", 3/8" y N°12).
- Máquina de los Ángeles.
- Esferas de acero de diámetro 46.38mm y peso 390gr.
- Agregado grueso proveniente de la planta de agregados GARZÓN.

##### Procedimiento:

La muestra de ensayo consiste en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante, separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con

una de las granulometrías indicadas. El tipo de abrasión que se realizara será referente a la tabla.

La muestra antes de ensayarla será pesada con aproximación de 1 g.

La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 r.p.m.); el número total de vueltas será 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en un tamiz más grueso que el de 1.70 mm (No.12). La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No.12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No.12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110°C (221 a 230°F), y se pesa con precisión de 1 g.



**Fotografía 3.2:** Echando las esferas de acero

**Fuente:** Elaboración propia



**Fotografía 3.3:** Material granular listo para tamizar en el tamiz No. 12

**Fuente:** Elaboración propia

<b>DESGASTE DE LA GRAVA 3/4</b>		
<b>PASADO</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>CANTIDAD TOMADA</b>
0,75	0,5	2500
0,5	0,375	2500
<b>RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1,7 mm)</b>		3655
<b>DIFERENCIA</b>		1345

**Tabla 3.15:** Desgaste la grava 3/4

**Fuente.** Elaboración propia

## CÁLCULO

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

$$\text{Porcentaje de Desgaste} = \frac{P - Pf}{P} * 100 = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100 \quad 26,9 \quad < 0$$

DESGASTE DE LA GRAVILLA 3/8		
PASADO	RETENIDO	CANTIDAD TOMADA
0,375	0,25	2500
0,25	4	2500
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1,7 mm)		3875
DIFERENCIA		1125

**Tabla 3.16:** Desgaste de la gravilla 3/8

Fuente. Elaboración propia

### CÁLCULO.

$$\text{Porcentaje de Desgaste} = \frac{P - Pf}{P} * 100 = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100 \quad 22,5 < 0$$

### 3.3.5. Equivalente de la Arena y Agregados Fino (ASTM D 2419)

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

#### Equipo y materiales:

- Tuvo irrigado, de acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña.
- Sistema de Sifón, se compone de un botellón de 3.8 lt de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.

- Probeta graduada. Con diámetro interior de  $31.75 \pm 0.381$  mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
- Tubo flexible. De caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
- Pisón de metal.
- Recipiente metálico.
- Cronómetro o reloj. Lecturas en minutos y segundos
- Embudo. De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
- Tamiz N°4
- Recipiente para mezcla
- Horno. Capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Agregado fino proveniente de la planta de agregados GARZON.

**Procedimiento.**

Antes de seleccionar la muestra de ensayo se deben desmenuzar todos los terrones de material fino, y pasar por el tamiz de 4.75 mm (No.4),

Verter la solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro graduado, hasta una altura de  $101.6 \pm 2.54$  mm ( $4 \pm 0.1$ ").

Con ayuda del embudo, se vierte la muestra de 50 gr de arena en el cilindro graduado. Golpear varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente. Dejar en reposo durante  $10 \pm 1$  minuto.

Al finalizar los 10 minutos (periodo de humedecimiento), tapar el cilindro con un tapón y soltar el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez. Después de soltar el material del fondo, agitar el cilindro, hasta completar 100 ciclos.



**Fotografía 3.4:** Observación del ensayo de equivalente de arena y agregado fino

**Fuente:** Elaboración propia

ENSAYO	Lecturas			Promedio
<b>ENSAYO N°</b>	1	2	3	
<b>LECTURA NIVEL SUPERIOR</b>	5,2	5,4	5,5	
<b>LECTURA NIVEL INFERIOR</b>	3,4	3,7	3,6	
<b>% DE ARENA</b>	65,4	68,5	65,5	<b>66,5</b>

**Tabla 3.17:** Tabla de resultados

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

Equivalente de la arena = 66,5%

### 3.3.6. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso (ASTM D-127)

Este ensayo sirve para determinar los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz No.4).

#### Equipo

- Balanza A  $\pm$  0.01gr.
- Tamiz No.4.
- Canastilla metálica.
- Dispositivo de suspensión.
- Agregado grueso proveniente de la planta de agregados GARZÓN.

#### Procedimiento:

Se comienza por mezclar completamente el agregado, cuarteándolo a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm.,

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 y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante  $24 \pm 4$  horas. Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (S.S.S.)

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. La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte a las pesadas.



Se seca entonces la muestra en horno a  $100^{\circ}$  -  $110^{\circ}\text{C}$ , se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta peso constante.



**Fotografía 3.5:** Muestra de agregado grueso

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 3.6:** Vertido del agregado grueso en la canastilla metálica

**Fuente.** Elaboración propia

Descripción	Unidad	Grava 3/4 – Nº 4	Grava 3/4 – Nº 5	PROMEDIO
Peso Muestra Saturada de Superf. Seca (e)	grs.	3575	3854	
Peso Material Seco (f)	grs.	3528	3805	
Peso Muestra + Cesto suspendido en Agua	grs.	2214	2385	
Peso del Cesto suspendido en Agua	grs.	0	0	
Peso Muestra suspendida Agua (g)	grs.	2214	2385	ASFALTO
Peso Específico del Agregado Seco (f / (e-g))	grs./cm3	2,592	2,590	
P.E.A. Saturado de Superficie Seca (e/(e-g))	grs./cm3	2,627	2,624	2,654
Peso Específico Aparente (f/ (f-g))	grs./cm3	2,685	2,680	
% de Absorción ((e-f)/f)*100	%	1,332	1,288	1,310

**Tabla 3.18:** Tabla de resultados de peso específico

**Fuente:** Elaboración propia

**Realizando un promedio aritmético:**

Peso específico del agregado grueso = 2,654gr/cm<sup>3</sup>

Realizando un promedio aritmético:

Porcentaje de absorción del agregado grueso = 1,310gr/cm<sup>3</sup>

**3.3.7. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (ASTM D-128)**

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

**Equipo y material**

- Balanza con capacidad de 1kg. y sensibilidad de 0,1 gr.
- Matraz de 500 ml de capacidad (se usa el mismo que se requiere para las pruebas de suelos).
- Molde cónico y una varilla.
- Muestra, Se selecciona una muestra de 1kg. Que puede ser obtenida por cuarteo, luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.
- Agregado fino proveniente de la planta de agregados pétreos GARZON ubicada en la comunidad de San Mateo Tarija.

**Procedimiento:**

Se debe primeramente homogeneizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior a 4.75 mm (tamiz No.4), se selecciona, por cuarteo, una cantidad de aproximadamente 1000 g, que se seca en el horno a 100 - 110°C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante. A continuación se cubre la muestra completamente con agua y se la deja así sumergida durante  $24 \pm 4$  horas.

Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja. Se observa visualmente que se está aproximando el agregado a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, echando en su interior a través de un embudo y sin apelmazar, una cantidad de muestra suficiente, que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando a continuación, con cuidado, verticalmente el molde. Si la superficie de las partículas conserva aún exceso de humedad, el cono de agregado mantendrá su forma original, por lo que se continuará agitando y secando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca

un primer desmoronamiento superficie, indicativo de que finalmente ha alcanzado el agregado la condición de superficie seca.



**Fotografía 3.7:** Verificando la humedad del material

**Fuente:** Elaboración propia



**Fotografía 3.8:** Tarado del Matraz de 500 ml

**Fuente:** Elaboración propia

Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 500.0 g del agregado fino, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 por ciento de su capacidad; para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana introduciéndolo seguidamente en un baño de agua a una temperatura de 25°C durante 1 hora, transcurrida la cual se enrasa con agua a igual

temperatura, se saca del baño, se seca rápidamente su superficie y se determina su peso total (picnómetro, muestra y agua), con una aproximación de 0.1 g.

Descripción	Unidad	100% Arena Triturada	100% Arena Triturada	PROMEDIO
Peso Frasco Seco Vacío (u)	grs.	160	161,7	
Peso Frasco+Muestra(f)	grs.	347,4	347,6	
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x=f-u)	grs.	300	298,3	
Peso Muestra Seca (a)	grs.	294	292,8	
Peso Agua (t)	grs.	527,4	532	
Peso Muestra + Agua (b)	grs.	714,8	717,9	ASFALTO
Peso Espec. del Agreg. Seco (a/((x+t)-b))	grs./cm <sup>3</sup>	2,611	2,605	
P. E. A. Saturado Sup. Seco(x/((x+t)-b))	grs./cm <sup>3</sup>	2,664	2,654	2,704
Peso Específico Aparente (a/(a+t)-b))	grs./cm <sup>3</sup>	2,758	2,739	
% de Absorción ((x-a)/a)*100	%	2,041	1,878	1,960

**Tabla 3.19:** Tabla de resultados del peso específico y absorción de agregado fino

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del agregado fino} = 2,704\text{gr/cm}^3$$

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de absorción del agregado fino} = 1,960\text{gr/cm}^3$$

### 3.3.8. Durabilidad Método de los Sulfatos (ASTHO T-104)



**Fotografía 3.9:** Agregado saturado con sulfato de sodio

**Fuente:** Elaboración propia

AGREGADO - GRUESO									
Granulometría				Peso Materiales		Pérdida por Diferencia (Grs.)	% Pasa al Tamiz más fino	% Pérdida Respecto Tamiz	% Pérdida Respecto Muestra Total
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes Ensayo (Grs.)	Después Ensayo (Grs.)				
2	2	1	100	0	0				
1	1	3/4"	98,8	700,2	698,5	1,7	16,4	0,24	0,04
3/4"	3/4"	1/2"	82,4	505,5	499,8	5,7	2,7	1,13	0,03
1/2"	1/2"	3/8"	79,7	301	297	4	27,7	1,33	0,37
3/8"	3/8"	N° 4	52	300	294,2	5,8	52	1,93	1,01
N° 4	N° 4	N° 8		0	0	0	0	0,00	0,00
TOTAL % PERDIDA DE PESO							82,4		1,44
MÁXIMO									12
Cinco ciclos									
Observación Material para Mezcla Asfáltica									

**Tabla 3.20:** Tabla de resultados de durabilidad método de sulfatos agregado grueso

**Fuente:** Elaboración propia

Total pérdida de peso para el agregado grueso: 1,44%

AGREGADO - FINO									
Granulometría				Peso Materiales		Pérdida por Diferencia (Grs.)	% Pasa al Tamiz más fino	% Pérdida Respecto Tamiz	% Pérdida Respecto Muestra Total
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes Ensayo (Grs.)	Después Ensayo (Grs.)				
3/8"	3/8"	N° 4	52	300	294,2	5,8	11,1	1,93	0,21
N° 4	N° 4	N° 8	40,9	100	96,2	3,8	10,1	3,80	0,38
N° 8	N° 8	N°16	30,8	100	95,2	4,8	14,9	4,80	0,72
N°16	N°16	N°40	15,9	100	94,5	5,5	5,7	5,50	0,31
N°40	N°40	N°80	10,2	100	94,6	5,4	10,2	5,40	0,55
TOTAL % PERDIDA DE PESO									1,96
MÁXIMO									12
TOTAL (%)									3,41
Observación Material para Mezcla Asfáltica									

**Tabla 3.21:** Tabla de resultados de durabilidad método de sulfatos agregado fino

**Fuente:** Elaboración propia

Total pérdida de peso para el agregado fino: 1,9%

Total pérdida de peso total: 3,41%

### 3.5.7. Límites de Attemberg (AASHTO M 1459)

N° Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes
18	42,55	38,75	3,8	15,22	23,53	16,14	6

Límite Líquido	13,6		Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0,0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
	AASHTO	<b>A - 1a (0)</b>						
Coficiente de uniformidad	47,50	D <sub>60</sub> =	D <sub>30</sub> =	8,47	D <sub>10</sub> =	0,58	Unificada	

**Tabla 3.22:** Tablas de resultados límites de Attemberg

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4. Tabla de Resultados de la Caracterización de los Agregados

De los ensayos realizados a los agregados pétreos se tiene los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida por la norma AASTHO y se presentan en la siguiente tabla. Observándose que todos y cada uno de los ensayos realizados cumplen con los requerimientos.

ENSAYOS	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	NORMA
	Mínimo	Máximo		
% de caras Fracturadas en grueso 3/4"	75	-	79,1	ASTM D 5821-95
% de caras Fracturadas en grueso 3/8"	75	-	76,8	ASTM D 5821-95
% de partículas laminadas grueso 3/4"	-	15	3,2	ASTM D-4791
% de partículas laminadas grueso 3/8"	-	15	5,52	ASTM D-4791
% de partículas chatas y alargadas 3/4"	-	-	4,01	ASTM D-4791
% de partículas chatas y alargadas 3/8"	-	-	2,56	ASTM D-4791
Equivalente de la arena (%)	50	-	66,5	ASTM D-2419
Abrasión de gruesos 3/4 (%)	-	40	26,9	ASTM C-131
Abrasión de gruesos 3/8 (%)	-	40	22,5	ASTM C-131
Peso específico de finos (Tn/m <sup>3</sup> )	-		2,704	ASTM D-128
Peso específico de agregado grueso (Tn/m <sup>3</sup> )	-		2,654	ASTM D-127
Absorción de agregado Fino (%)	-		1,96	ASTM D-128
Absorción de agregado grueso (%)	-		1,31	ASTM D-127

**Tabla 3.23:** Resultados de los áridos y comparaciones con la norma ASTM.

**Fuente:** Elaboración Propia



### **3.5. Ensayo del Ligante Asfáltico**

La caracterización del lígate asfáltico se lo realiza a modo de comprobar la calidad del cemento asfáltico de esta manera se podrá verificar con las especificaciones técnicas dadas para cada cemento asfáltico.

#### **3.5.1. Peso Específico (ASTM D-70)**

##### **Equipo**

- Picnómetro.
- Baño de agua.
- Termómetro.
- Recipiente de vidrio boca ancha de 600ml.
- Balanza A  $\pm$  0.1gr.
- Agua destilada.
- Asfalto.

##### **Procedimiento**

Calibración del picnómetro.- Se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón con el líquido de limpieza, enjuagándolo con agua destilada y secándolo.

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

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

Verter una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado. Dejar enfriar el picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y pesar con el tapón, con aproximación a 1 mg. El peso del picnómetro con la muestra, se designa como C.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. Colocar el picnómetro en el vaso y apretar firmemente el tapón. Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante de 30 minutos. Sacar y pesar, este peso del picnómetro con la muestra y con agua, se designa como D.

<b>Peso Específico AASHTO T-227</b>			
Peso Picnómetro	grs.	61,99	61,99
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	142,78	142,78
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	108,56	102,33
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	143,32	143,15
Peso Específico	grs./cm <sup>3</sup>	1,009	1,006

**Tabla 3.24:** Tabla de resultados peso específico

**Fuente:** Elaboración Propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del cemento asfáltico 85-100} = 1,0075\text{gr/cm}^3$$

### 3.5.2. Punto de Inflamación (ASTM D-92).

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

#### Equipo

- Aparato de copa abierta Cleveland
- Termómetro
- Asfalto

**Procedimiento:**

Llenar la copa a cualquier temperatura que no exceda de  $100^{\circ}\text{C}$  ( $180^{\circ}\text{F}$ ) por encima del punto de ablandamiento de la muestra de tal manera que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado, encender la llama de ensayo y ajustar el diámetro .

Se aplica calor inicialmente de tal manera que la rata de incremento de temperatura de la muestra sea de  $14$  a  $17^{\circ}\text{C}$  ( $25$  a  $30^{\circ}\text{F}$ ) por minuto. Después de su punto de aplicación se empieza a aplicar la llama de ensayo, una vez por cada aumento de  $2^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{F}$ ). 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.



**Fotografía 3.10:** Calentado la muestra para el punto de inflamación

**Fuente:** Elaboración Propia

Ensayo	Unidad	1	2	3
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>280	>275	>280

**Tabla 3.25:** Tabla de resultados del punto de inflamación

**Fuente:** Elaboración Propia

Realizando un promedio aritmético:

Punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100 = 278,3gr/cm<sup>3</sup>

### 3.5.3. Ensayo de Penetración (ASTM D-5).

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

#### Equipo

- Penetrómetro.
- Aguja de penetración.
- Recipiente o molde para la muestra.
- Baño de agua María.
- Dispositivo medidor de tiempo.
- Termómetro.
- Espátula
- Asfalto

**Procedimiento:**

Se separa con una espátula caliente unos 400 a 500 g de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material.

Después de llenar los moldes, se cubren con un vaso de vidrio invertido, de dimensiones apropiadas, para protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y se dejan enfriar al aire a una temperatura entre 20° y 30°C, por un período entre 1 y 1.5 horas. Finalmente, se sumergen los recipientes en el baño de agua maría a la temperatura de 25 °C, manteniéndolos así durante los mismos períodos de enfriamiento.

La aguja de penetración se limpia con disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, fijándola firmemente en su soporte. Una vez transcurridos los tiempos de inmersión, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre. Se anota la lectura o se pone en cero el penetrómetro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Se realizarán al menos tres penetraciones en cada recipiente, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm (3/8") entre sí y de las paredes del recipiente.



**Fotografía 3.11:** Muestras de mezcla asfáltica

**Fuente:** Elaboración Propia



**Fotografía 3.12:** Esquema de la práctica de penetración

**Fuente:** Elaboración Propia



**Fotografía 3.13:** Penetración de la muestra

**Fuente:** Elaboración Propia

## Resultados

Penetración a 25°C, 100s. 5seg.( 0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm.	90	94
	Lectura N°2	mm.	96	94
	Lectura N°3	mm.	94	94
	Promedio	mm.	93,33	94,0

**Tabla 3.26:** Tabla de resultados de penetración

**Fuente:** Elaboración Propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Penetración del cemento asfáltico 85-100} = 93,665 \text{ gr/cm}^3$$

### 3.5.4. Ensayo de Viscosidad Saybolt-Furol (ASTM E-102).

Este ensayo se emplea normalmente para cementos asfálticos, emulsiones y aceites y sirve para determinar el tiempo en segundos, necesarios para que pasen 60 centímetros cúbicos de líquido, a una temperatura determinada, a través de un tubo de dimensiones específicas.

En esta investigación al tratarse de un cemento asfáltico se determinara a una temperatura de 135 °C.

#### Equipo

- Viscosímetro Saybolt.
- Frasco calibrado para recibir la muestra de 60 cm<sup>3</sup>.
- Termómetros.
- Cronómetro A ± 1s.
- Pipeta de 2mm de diámetro interior.

#### Procedimiento

El cemento asfáltico se hace pasar la muestra a través de un tamiz # 100 antes de echarla en el recipiente. Se echa en el recipiente ya limpio una cantidad de muestra que sea suficiente para mojar completamente su superficie dejando que fluya el exceso.

Se coloca el tapón en la parte inferior del tubo de salida, de manera que quede introducido más de 6.3 mm. y menos de 9.5 mm.

El tapón debe entrar suave, pero haciendo un cierre hermético para evitar que se escape el aire de la parte inferior del recipiente.

Se vierte la muestra en el tubo hasta que deja de rebosar dentro del cilindro de rebose tras lo cual se mantendrá bien revuelta por medio del termómetro. La temperatura del baño se debe graduar hasta que la temperatura de la muestra dentro del tubo sea constante.

Se coloca el frasco calibrado de 60 cm<sup>3</sup> en una posición tal que quede centrado con respecto al orificio de salida y que el material al fluir no toque las paredes del frasco.

El ensayo se empieza sacando rápidamente el tapón del corcho del tubo, poniendo en marcha al mismo tiempo el cronómetro. Se para el cronómetro cuando la parte inferior del menisco alcanza la graduación del cuello del frasco calibrado.

Ensayo	Unidad	1	2	3
Viscosidad Saybolt 135 °C AASHTO T-72	seg.	142	135	140

**Tabla 3.27:** Tabla de resultados de VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL

**Fuente:** Elaboración Propia

Realizando un promedio aritmético:

Viscosidad del cemento asfáltico 85-100 = 139gr/cm<sup>3</sup>

### 3.5.5. Porcentaje de Agua en el Asfalto

Ensayo	Unidad	1	2
Porcentaje de agua	%	0,04	0,05

**Tabla 3.28:** Tabla de resultados de porcentaje de agua

**Fuente:** Elaboración Propia

Realizando un promedio aritmético:

Porcentaje de agua del cemento asfáltico 85-100 = 0,045gr/cm<sup>3</sup>



### **3.5.6. Punto de Ablandamiento Anillo y Bola (ASTM D 36)**

Este método se utiliza para determinar el punto de ablandamiento del betún en el intervalo de 30° a 157° C (86° a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C). Se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una muestra sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua glicérica

#### **Equipo**

- Anillo de bronce
- Bolas de acero con un diametro de 9,5mm y que pesen entre  $3,5 \pm 0,050g$
- Una guía para centrar la bola, contruida de bronce
- Baño.-vaso de vidrio de 800ml, copaz de resistir el calor ,que tenga un diametro no menor de 85mm y una profundidad no menor que 120mm.
- Soporte de anillo
- Termometro

#### **Procedimiento**

Se homogeniza su contenido con una espátula.

Verter una pequeña muestra de betún caliente en cada anillo, posterior a esto permitir que las muestras se enfríen a temperatura ambiente por un periodo mínimo de 30 minutos.

Una vez que las muestras se encuentren frías, cortar el exceso de betún sobre la parte superior del anillo con un cuchillo o espátula ligeramente caliente, de modo que el betún quede al ras y a nivel con el anillo.

Monte el aparato con los anillos, guías de centrado de la bola, y el termómetro en posición. Llene la bañera de modo que la profundidad del líquido sea de  $105 \pm 3$  mm con el aparato en su lugar.

Coloque las esferas en las guías y sumerja el aparato en el medio del baño correspondiente.

Calentar el baño maría de tal manera que la temperatura se incremente en rangos de 5°C cada minuto.

Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas registradas no deben diferir entre sí en más de 1°C, de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.



**Fotografía 3.14:** Punto de ablandamiento anillo y bola

**Fuente:** Elaboración Propia

<b>Ensayos Sobre el Residuo de la Película Delgada</b>			
Pérdida en masa	%	0,18	0,22
Penetración del residuo, penetración original	%	59,0	62,0

**Tabla 3.29:** Tabla de resultados de ensayo sobre el residuo de la película delgada

**Fuente:** Elaboración Propia

**Realizando un promedio aritmético:**

Pérdida de masa del cemento asfáltico 85-100 = 0,2 gr/cm<sup>3</sup>

**Realizando un promedio aritmético:**

Penetración del residuo, penetración del cemento asfáltico 85-100 = 60,5 gr/cm<sup>3</sup>

**3.6. Tabla De Resultados de la Caracterización del Cemento Asfáltico 85-100**

De los ensayos realizados se tiene los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida, proveniente de la normativa AASTHO y del distribuidor, valores se encuentran en la siguiente tabla.

ENSAYOS	85-100		RESULTADO	NORMA
	Mínimo	Máximo		
Viscosidad Saybolt-Furol a 135C, °C (seg)	85	-	139	ASTM D-102
Penetración muestra original (25 °C, 100gr, 5s)mm/10	85	100	94	ASTM D-5
Pérdida de masa (%)	-	-	0,2	ASTM D-113
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C	232	-	278	ASTM D-92
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	1	1,05	1,0075	ASTM D-70
Penetración del residuo, penetración original (%)	47	-	60,5	AASTHO T-84

**Tabla 3.30:** Resultados y comparaciones del cemento asfaltico BETUMEN con la norma ASTM

**Fuente:** Propia

## CAPÍTULO IV

### INGENIERÍA DEL PROYECTO

#### 4. Diseño para realizar el Estudio de la Trabajabilidad y Rendimiento de Mezclas Asfálticas Templadas

Para estudiar la trabajabilidad y rendimiento de las mezclas asfálticas templadas se fabricara briquetas en el laboratorio de SEDECA – TARIJA, y analizar sus propiedades de fluencia y estabilidad a través del Diseño Marshall. Para los ensayos de caracterización de los agregados y cemento asfaltico se tomara como referencia el procedimiento de la norma de la ABC.

##### **Dosificación por la fórmula básica tanteos sucesivos**

Este método de tanteo recibe el nombre porque se tantea los porcentajes de aporte de cada material hasta que la curva de la granulometría de la mezcla este entre el rango de las especificaciones técnicas; en este caso realizaremos 3 diseños para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto a través de las curvas generadas del Diseño Marshall, con estos porcentajes óptimos de asfalto tendremos la dosificación adecuada para cada diseño en estudio de la mezcla asfáltica templada, fabricando con esta dosificación briquetas a diferentes temperaturas de compactación y mezclado entre el rango de 105 -140 °C para su respectivo análisis.

#### **4.1. Diseño Marshall 1**

Se procedió a realizar el diseño Marshall 1 con el cemento asfaltico y áridos previamente caracterizados.

##### **4.1.1. Mezcla de los Agregados**

Para la presente investigación se fabricara mezclas asfálticas templadas, para lo cual se utilizó agregados de 3/4", 3/8", arena y filler. Las proporciones a utilizarse con:

Agregado de 3/4" =18%

Agregado de 3/8"= 34.7%

Arena= 47.3%

En la siguiente tabla se muestra la granulometría y las proporciones de los agregados a utilizarse, además de su respectiva faja de trabajo.

AGREGADO		Grava - Garzon		Gravilla - Garzon		Arena - Garzon		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA		
% USADO		18,0%		34,7%		47,3%			CURVA DE TRABAJO			ESPECIF. GRAD. MEDIA	ESPECIF. GRAD. MEDIA	
TAMICES		% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.		INF.	SUP.			INF.	SUP.
PULG	mm.													
1"	25,40	100,0	18,0	100,0	34,7	100,0	47,3	100,0	100	100	0%	100	100	
3/4"	19,10	93,0	16,7	100,0	34,7	100,0	47,3	98,7	97	100	0%	97	100	
1/2"	12,50	6,7	1,2	96,3	33,4	100,0	47,3	81,9	77	87	5%	76	88	
3/8"	9,50	0,9	0,2	92,8	32,2	100,0	47,3	79,7						
#4	4,75	0,4	0,1	7,0	2,4	98,4	46,5	49,0	42	56	7%	49	59	
#8	2,360	0,2	0,0	0,4	0,2	80,8	38,2	38,4	33	43	5%	36	45	
#16	1,180	0,2	0,0	0,3	0,1	60,9	28,8	29,0						
#40	0,425	0,1	0,0	0,2	0,1	31,9	15,1	15,2	12	18	3%	14	22	
#80	0,180	0,1	0,0	0,2	0,1	19,9	9,4	9,5						
#200	0,075	0,1	0,0	0,1	0,0	12,4	5,9	5,9	4	8	2%	3	7	

Tabla 4.1: Porcentajes de la granulometría para el Diseño 1

Fuente: Propia

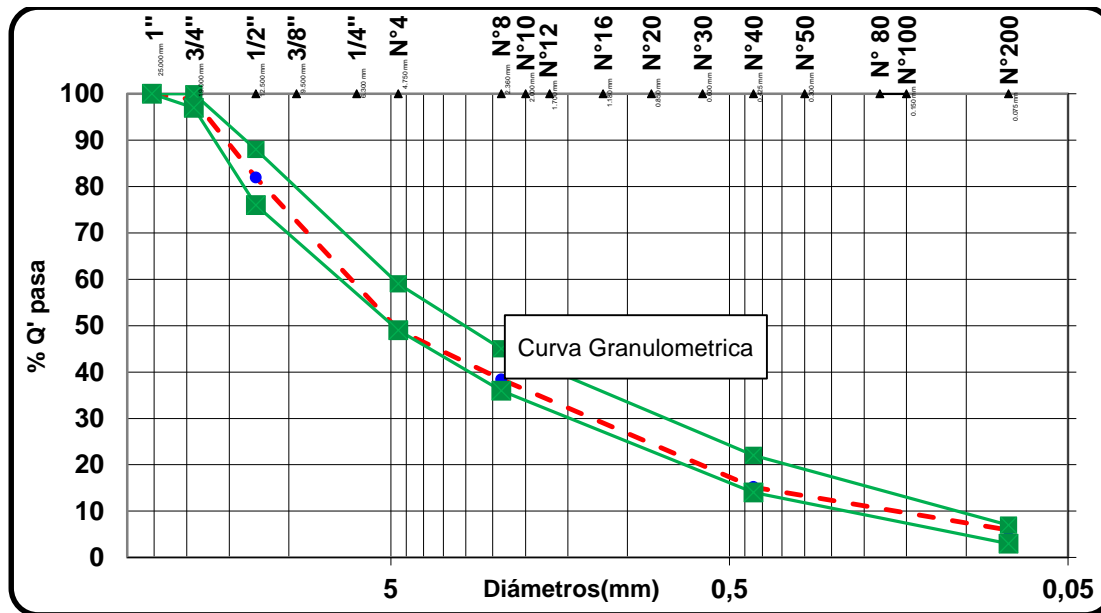


Figura 4.1: Curva Granulométrica del Diseño 1

FUENTE: Propia

#### 4.1.2. Dosificación para el Diseño Marshall

Conociendo la granulometría de la mezcla de los agregados podemos calcularla dosificación para su respectivo diseño Marshall la planilla de dosificación de la tabla.

Porcentaje de cemento asfáltico 4,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	<b>1,3</b>	14,4	14,4
1/2"	81,9	18,1	<b>16,8</b>	192,9	207,3
3/8"	79,7	20,3	<b>2,2</b>	25,7	233,0
N°4	49,0	51,0	<b>30,6</b>	351,1	584,0
N°10	38,4	61,6	<b>10,6</b>	121,7	705,8
N°16	29,0	71,0	<b>9,5</b>	108,3	814,1
N°40	15,2	84,8	<b>13,8</b>	158,1	972,2
N°80	9,5	90,5	<b>5,7</b>	64,8	1037,0
N°200	5,9	94,1	<b>3,6</b>	40,9	1077,9
Filler	0	100,0	<b>5,9</b>	68,1	1146,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1146,0</b>	

Peso Muestra=	<b>1146,0 gr.</b>
Peso Asfalto=	<b>54,0 gr.</b>
Peso Total Material + C. Asf.=	<b>1200,0 gr.</b>

Porcentaje de cemento asfáltico 5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	<b>1,3</b>	14,3	14,3
1/2"	81,9	18,1	<b>16,8</b>	191,9	206,2
3/8"	79,7	20,3	<b>2,2</b>	25,6	231,8
N°4	49,0	51,0	<b>30,6</b>	349,2	581,0
N°10	38,4	61,6	<b>10,6</b>	121,1	702,1
N°16	29,0	71,0	<b>9,5</b>	107,7	809,8
N°40	15,2	84,8	<b>13,8</b>	157,3	967,1
N°80	9,5	90,5	<b>5,7</b>	64,5	1031,6
N°200	5,9	94,1	<b>3,6</b>	40,7	1072,2
Filler	0	100,0	<b>5,9</b>	67,8	1140,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1140,0</b>	

Peso Muestra=	<b>1140,0 gr.</b>
Peso Asfalto=	<b>60,0 gr.</b>
Peso Total Material + C. Asf.=	<b>1200,0 gr.</b>

Porcentaje de cemento asfáltico 5,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2
1/2"	81,9	18,1	16,8	190,9	205,1
3/8"	79,7	20,3	2,2	25,5	230,6
N°4	49,0	51,0	30,6	347,4	577,9
N°10	38,4	61,6	10,6	120,4	698,4
N°16	29,0	71,0	9,5	107,2	805,5
N°40	15,2	84,8	13,8	156,5	962,0
N°80	9,5	90,5	5,7	64,1	1026,1
N°200	5,9	94,1	3,6	40,5	1066,6
Filler	0	100,0	5,9	67,4	1134,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1134,0</b>	

**Peso Muestra= 1134,0 gr.**

**Peso Asfalto= 66,0 gr.**

**Peso Total Material + C. Asf.= 1200,0 gr.**

Porcentaje de cemento asfáltico 6%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2
1/2"	81,9	18,1	16,8	189,8	204,0
3/8"	79,7	20,3	2,2	25,3	229,3
N°4	49,0	51,0	30,6	345,5	574,9
N°10	38,4	61,6	10,6	119,8	694,7
N°16	29,0	71,0	9,5	106,6	801,3
N°40	15,2	84,8	13,8	155,6	956,9
N°80	9,5	90,5	5,7	63,8	1020,7
N°200	5,9	94,1	3,6	40,3	1061,0
Filler	0	100,0	5,9	67,0	1128,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1128,0</b>	

**Peso Muestra= 1128,0 gr.**

**Peso Asfalto= 72,0 gr.**

**Peso Total Material + C. Asf.= 1200,0 gr.**

Porcentaje de cemento asfáltico 6,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,1	14,1
1/2"	81,9	18,1	16,8	188,8	202,9
3/8"	79,7	20,3	2,2	25,2	228,1
Nº4	49,0	51,0	30,6	343,7	571,8
Nº10	38,4	61,6	10,6	119,2	691,0
Nº16	29,0	71,0	9,5	106,0	797,0
Nº40	15,2	84,8	13,8	154,8	951,8
Nº80	9,5	90,5	5,7	63,5	1015,3
Nº200	5,9	94,1	3,6	40,0	1055,3
Filler	0	100,0	5,9	66,7	1122,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1122,0</b>	

Peso Muestra= **1122,0 gr.**

Peso Asfalto= **78,0 gr.**

Peso Total Material + C. Asf.= **1200,0 gr.**

Porcentaje de cemento asfáltico 7%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	7,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,0	14,0
1/2"	81,9	18,1	16,8	187,8	201,8
3/8"	79,7	20,3	2,2	25,1	226,9
Nº4	49,0	51,0	30,6	341,9	568,8
Nº10	38,4	61,6	10,6	118,5	687,3
Nº16	29,0	71,0	9,5	105,5	792,8
Nº40	15,2	84,8	13,8	154,0	946,7
Nº80	9,5	90,5	5,7	63,1	1009,8
Nº200	5,9	94,1	3,6	39,8	1049,7
Filler	0	100,0	5,9	66,3	1116,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1116,0</b>	

Peso Muestra= **1116,0 gr.**

Peso Asfalto= **84,0 gr.**

Peso Total Material + C. Asf.= **1200,0 gr.**



Las tablas vistas anteriormente nos muestran las diversas proporciones de valores o cantidades de los agregados y asfalto para una briqueta de 1200 gr. en la mezcla asfáltica, con la cual se obtendrán puntos, se podrán generar graficas que determine un porcentaje óptimo de asfalto para el diseño 1 de la mezcla asfáltica en estudio.

## 4.2. Diseño Marshall 2

Se procedió a realizar el diseño Marshall 2 con el cemento asfáltico y áridos previamente caracterizados.

### 4.2.1. Mezcla de los Agregados

Para la presente investigación se fabricará mezclas asfálticas templadas, para lo cual se utilizó agregados de 3/4", 3/8", arena y filler. Las proporciones a utilizarse con:

Agregado de 3/4" =18%

Agregado de 3/8"= 29.3%

Arena= 52.7%

En la siguiente tabla se muestra la granulometría y las proporciones de los agregados a utilizarse, además de su respectiva faja de trabajo.

AGREGADO		<i>Grava - Garzon</i>		<i>Gravilla - Garzon</i>		<i>Arena - Garzon</i>		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA			
% USADO		18,0%		29,3%		52,7%			CURVA DE TRABAJO	INF.		SUP.	ESPECIF. GRAD. MEDIA	INF.	SUP.
TAMICES		% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.								
PULG	mm.														
1"	25,40	100,0	18,0	100,0	29,3	100,0	52,7	100,0	100	100	0%	100	100		
3/4"	19,10	93,0	16,7	100,0	29,3	100,0	52,7	98,7	97	100	0%	97	100		
1/2"	12,50	6,7	1,2	96,3	28,2	100,0	52,7	82,1	77	87	5%	76	88		
3/8"	9,50	0,9	0,2	92,8	27,2	100,0	52,7	80,1							
#4	4,75	0,4	0,1	7,0	2,0	98,4	51,9	54,0	47	61	7%	49	59		
#8	2,360	0,2	0,0	0,4	0,1	80,8	42,6	42,8	38	48	5%	36	45		
#16	1,180	0,2	0,0	0,3	0,1	60,9	32,1	32,2							
#40	0,425	0,1	0,0	0,2	0,1	31,9	16,8	16,9	14	20	3%	14	22		
#80	0,180	0,1	0,0	0,2	0,1	19,9	10,5	10,6							
#200	0,075	0,1	0,0	0,1	0,0	12,4	6,6	6,6	5	9	2%	3	7		

**Tabla 4.2:** Porcentajes de la granulometría para el Diseño 2

**Fuente:** Propia

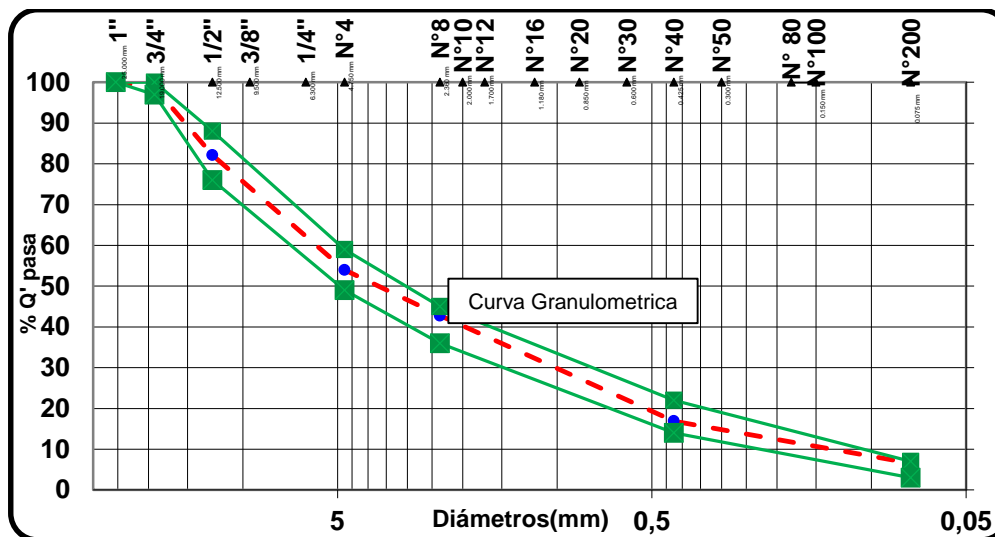


Figura 4.2: Curva Granulométrica del Diseño 2

FUENTE: Propia

#### 4.2.2. Dosificación para el Diseño Marshall

Conociendo la granulometría de la mezcla de los agregados podemos calcularla dosificación para su respectivo diseño Marshall la planilla de dosificación se ve en la siguiente tabla.

Porcentaje de cemento asfáltico 4,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,4	14,4
1/2"	82,1	17,9	16,6	190,6	204,9
3/8"	80,1	19,9	2,1	23,6	228,5
N°4	54,0	46,0	26,1	298,9	527,5
N°10	42,8	57,2	11,2	128,6	656,0
N°16	32,2	67,8	10,5	120,6	776,6
N°40	16,9	83,1	15,4	176,0	952,6
N°80	10,6	89,4	6,3	72,2	1024,8
N°200	6,6	93,4	4,0	45,5	1070,3
Filler	0	100,0	6,6	75,7	1146,0
Peso Total=				1146,0	

Peso Muestra=	1146,0 gr.
Peso Asfalto=	54,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

## Porcentaje de cemento asfáltico 5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,3	14,3
1/2"	82,1	17,9	16,6	189,6	203,9
3/8"	80,1	19,9	2,1	23,5	227,3
N°4	54,0	46,0	26,1	297,4	524,7
N°10	42,8	57,2	11,2	127,9	652,6
N°16	32,2	67,8	10,5	119,9	772,5
N°40	16,9	83,1	15,4	175,1	947,6
N°80	10,6	89,4	6,3	71,8	1019,4
N°200	6,6	93,4	4,0	45,2	1064,7
Filler	0	100,0	6,6	75,3	1140,0
Peso Total=				1140,0	

Peso Muestra=	1140,0 gr.
Peso Asfalto=	60,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

## Porcentaje de cemento asfáltico 5,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2
1/2"	82,1	17,9	16,6	188,6	202,8
3/8"	80,1	19,9	2,1	23,4	226,1
N°4	54,0	46,0	26,1	295,8	521,9
N°10	42,8	57,2	11,2	127,2	649,2
N°16	32,2	67,8	10,5	119,3	768,4
N°40	16,9	83,1	15,4	174,2	942,6
N°80	10,6	89,4	6,3	71,4	1014,1
N°200	6,6	93,4	4,0	45,0	1059,1
Filler	0	100,0	6,6	74,9	1134,0
Peso Total=				1134,0	

Peso Muestra=	1134,0 gr.
Peso Asfalto=	66,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

## Porcentaje de cemento asfáltico 6%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2
1/2"	82,1	17,9	16,6	187,6	201,7
3/8"	80,1	19,9	2,1	23,2	224,9
Nº4	54,0	46,0	26,1	294,2	519,2
Nº10	42,8	57,2	11,2	126,5	645,7
Nº16	32,2	67,8	10,5	118,7	764,4
Nº40	16,9	83,1	15,4	173,2	937,6
Nº80	10,6	89,4	6,3	71,1	1008,7
Nº200	6,6	93,4	4,0	44,8	1053,5
Filler	0	100,0	6,6	74,5	1128,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1128,0</b>	

Peso Muestra=	<b>1128,0 gr.</b>
Peso Asfalto=	<b>72,0 gr.</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.=</b>	<b>1200,0 gr.</b>

## Porcentaje de cemento asfáltico 6,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,1	14,1
1/2"	82,1	17,9	16,6	186,6	200,6
3/8"	80,1	19,9	2,1	23,1	223,8
Nº4	54,0	46,0	26,1	292,7	516,4
Nº10	42,8	57,2	11,2	125,9	642,3
Nº16	32,2	67,8	10,5	118,0	760,3
Nº40	16,9	83,1	15,4	172,3	932,6
Nº80	10,6	89,4	6,3	70,7	1003,3
Nº200	6,6	93,4	4,0	44,5	1047,8
Filler	0	100,0	6,6	74,2	1122,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1122,0</b>	

Peso Muestra=	<b>1122,0 gr.</b>
Peso Asfalto=	<b>78,0 gr.</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.=</b>	<b>1200,0 gr.</b>

Porcentaje de cemento asfáltico 7%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	7,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,0	0,0
1"	100,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	<b>1,3</b>	14,0	14,0
1/2"	82,1	17,9	<b>16,6</b>	185,6	199,6
3/8"	80,1	19,9	<b>2,1</b>	23,0	222,6
Nº4	54,0	46,0	<b>26,1</b>	291,1	513,7
Nº10	42,8	57,2	<b>11,2</b>	125,2	638,9
Nº16	32,2	67,8	<b>10,5</b>	117,4	756,3
Nº40	16,9	83,1	<b>15,4</b>	171,4	927,6
Nº80	10,6	89,4	<b>6,3</b>	70,3	998,0
Nº200	6,6	93,4	<b>4,0</b>	44,3	1042,2
Filler	0	100,0	<b>6,6</b>	73,8	1116,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1116,0</b>	

<b>Peso Muestra=</b>	<b>1116,0 gr.</b>
<b>Peso Asfalto=</b>	<b>84,0 gr.</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.=</b>	<b>1200,0 gr.</b>

Las tablas vistas anteriormente nos muestran las diversas proporciones de valores o cantidades de los agregados y asfalto para una briqueta de 1200 gr. en la mezcla asfáltica, con la cual se obtendrán puntos, se podrán generar graficas que determine un porcentaje óptimo de asfalto para el diseño 2 de la mezcla asfáltica en estudio.

### 4.3. Diseño Marshall 3

Se procedió a realizar el diseño Marshall 3 con el cemento asfáltico y áridos previamente caracterizados.

#### 4.3.1. Mezcla de los Agregados

Para la presente investigación se fabricara mezclas asfálticas templadas, para lo cual se utilizó agregados de 3/4", 3/8", arena y filler. Las proporciones a utilizarse con:

Agregado de 3/4" =18%

Agregado de 3/8"= 23.8%

Arena= 58.2%

En la siguiente tabla se muestra la granulometría y las proporciones de los agregados a utilizarse, además de su respectiva faja de trabajo.

AGREGADO		Grava - Garzon		Gravilla - Garzon		Arena - Garzon		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA		
% USADO		18,0%		23,8%		58,2%			CURVA DE TRABAJO			ESPECIF. GRAD. MEDIA	ESPECIF. GRAD. MEDIA	
TAMICES		% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.		INF.	SUP.			INF.	SUP.
PULG	mm.													
1"	25,40	100,0	18,0	100,0	23,8	100,0	58,2	100,0	100	100	0%	100	100	
3/4"	19,10	93,0	16,7	100,0	23,8	100,0	58,2	98,7	97	100	0%	97	100	
1/2"	12,50	6,7	1,2	96,3	22,9	100,0	58,2	82,3	77	87	5%	76	88	
3/8"	9,50	0,9	0,2	92,8	22,1	100,0	58,2	80,5						
#4	4,75	0,4	0,1	7,0	1,7	98,4	57,3	59,0	52	66	7%	49	59	
#8	2,360	0,2	0,0	0,4	0,1	80,8	47,0	47,2	42	52	5%	36	45	
#16	1,180	0,2	0,0	0,3	0,1	60,9	35,5	35,6						
#40	0,425	0,1	0,0	0,2	0,0	31,9	18,5	18,6	16	22	3%	14	22	
#80	0,180	0,1	0,0	0,2	0,0	19,9	11,6	11,7						
#200	0,075	0,1	0,0	0,1	0,0	12,4	7,2	7,3	5	9	2%	3	7	

Tabla 4.3: Porcentajes de la granulometría para el Diseño 3

Fuente: Propia

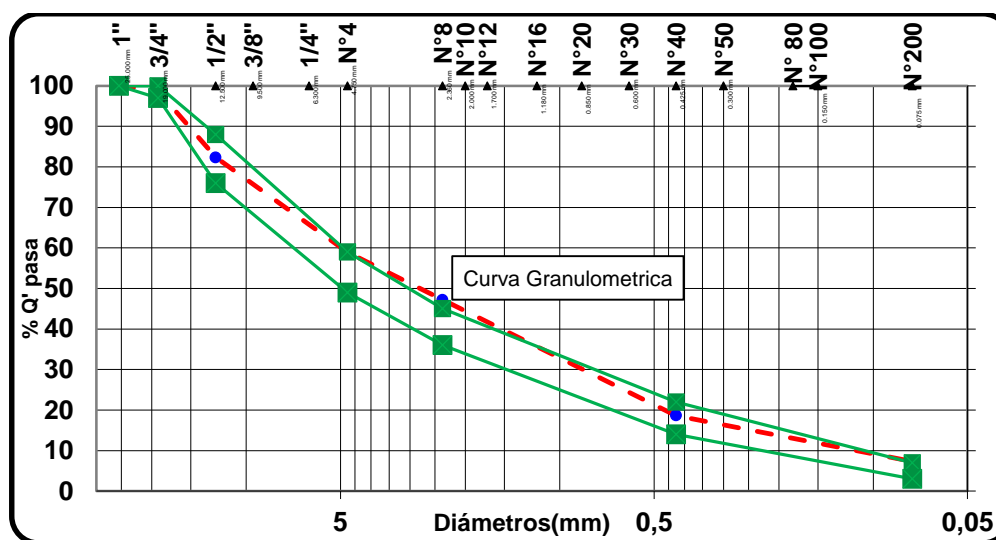


Figura 4.3: Curva Granulométrica del Diseño 3

FUENTE: Propia

#### 4.3.2. Dosificación para el Diseño Marshall

Conociendo la granulometría de las mezcla de los agregados podemos calcularla dosificación para su respectivo diseño Marshall la planilla de dosificación se ve en la siguiente tabla.

Porcentaje de cemento asfáltico 4,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,4	14,4
1/2"	82,3	17,7	16,4	188,2	202,6
3/8"	80,5	19,5	1,9	21,4	224,0
Nº4	59,0	41,0	21,5	245,8	469,8
Nº10	47,2	52,8	11,8	135,5	605,4
Nº16	35,6	64,4	11,6	133,0	738,4
Nº40	18,6	81,4	16,9	194,2	932,6
Nº80	11,7	88,3	7,0	79,7	1012,4
Nº200	7,3	92,7	4,4	50,1	1062,5
Filler	0	100,0	7,3	83,5	1146,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1146,0</b>	

<b>Peso Muestra=</b>	<b>1146,0 gr.</b>
<b>Peso Asfalto=</b>	<b>54,0 gr.</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.=</b>	<b>1200,0 gr.</b>

Porcentaje de cemento asfáltico 5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,3	14,3
1/2"	82,3	17,7	16,4	187,2	201,5
3/8"	80,5	19,5	1,9	21,3	222,8
Nº4	59,0	41,0	21,5	244,5	467,4
Nº10	47,2	52,8	11,8	134,8	602,2
Nº16	35,6	64,4	11,6	132,3	734,5
Nº40	18,6	81,4	16,9	193,2	927,7
Nº80	11,7	88,3	7,0	79,3	1007,1
Nº200	7,3	92,7	4,4	49,9	1056,9
Filler	0	100,0	7,3	83,1	1140,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1140,0</b>	

<b>Peso Muestra=</b>	<b>1140,0 gr.</b>
<b>Peso Asfalto=</b>	<b>60,0 gr.</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.=</b>	<b>1200,0 gr.</b>

Porcentaje de cemento asfáltico 5,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2
1/2"	82,3	17,7	16,4	186,2	200,5
3/8"	80,5	19,5	1,9	21,2	221,7
Nº4	59,0	41,0	21,5	243,3	464,9
Nº10	47,2	52,8	11,8	134,1	599,0
Nº16	35,6	64,4	11,6	131,6	730,7
Nº40	18,6	81,4	16,9	192,2	922,9
Nº80	11,7	88,3	7,0	78,9	1001,8
Nº200	7,3	92,7	4,4	49,6	1051,4
Filler	0	100,0	7,3	82,6	1134,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1134,0</b>	

Peso Muestra=	<b>1134,0 gr.</b>
Peso Asfalto=	<b>66,0 gr.</b>
Peso Total Material + C. Asf.=	<b>1200,0 gr.</b>

Porcentaje de cemento asfáltico 6%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2
1/2"	82,3	17,7	16,4	185,2	199,4
3/8"	80,5	19,5	1,9	21,1	220,5
Nº4	59,0	41,0	21,5	242,0	462,4
Nº10	47,2	52,8	11,8	133,4	595,9
Nº16	35,6	64,4	11,6	130,9	726,8
Nº40	18,6	81,4	16,9	191,2	918,0
Nº80	11,7	88,3	7,0	78,5	996,5
Nº200	7,3	92,7	4,4	49,3	1045,8
Filler	0	100,0	7,3	82,2	1128,0
<b>Peso Total=</b>				<b>1128,0</b>	

Peso Muestra=	<b>1128,0 gr.</b>
Peso Asfalto=	<b>72,0 gr.</b>
Peso Total Material + C. Asf.=	<b>1200,0 gr.</b>



Porcentaje de cemento asfáltico 6,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,1	14,1
1/2"	82,3	17,7	16,4	184,3	198,3
3/8"	80,5	19,5	1,9	21,0	219,3
Nº4	59,0	41,0	21,5	240,7	460,0
Nº10	47,2	52,8	11,8	132,7	592,7
Nº16	35,6	64,4	11,6	130,2	722,9
Nº40	18,6	81,4	16,9	190,2	913,1
Nº80	11,7	88,3	7,0	78,1	991,2
Nº200	7,3	92,7	4,4	49,1	1040,2
Filler	0	100,0	7,3	81,8	1122,0
Peso Total=				1122,0	

Peso Muestra= 1122,0 gr.

Peso Asfalto= 78,0 gr.

Peso Total Material + C. Asf.= 1200,0 gr.

Porcentaje de cemento asfáltico 7%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	7%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,0	14,0
1/2"	82,3	17,7	16,4	183,3	197,3
3/8"	80,5	19,5	1,9	20,9	218,1
Nº4	59,0	41,0	21,5	239,4	457,5
Nº10	47,2	52,8	11,8	132,0	589,5
Nº16	35,6	64,4	11,6	129,6	719,1
Nº40	18,6	81,4	16,9	189,1	908,2
Nº80	11,7	88,3	7,0	77,6	985,9
Nº200	7,3	92,7	4,4	48,8	1034,7
Filler	0	100,0	7,3	81,3	1116,0
Peso Total=				1116,0	

Peso Muestra= 1116,0 gr.

Peso Asfalto= 84,0 gr.

Peso Total Material + C. Asf.= 1200,0 gr.

Las tablas vistas anteriormente nos muestran las diversas proporciones de valores o cantidades de los agregados y asfalto para una briqueta de 1200 gr. en la mezcla asfáltica, con la cual se obtendrán puntos, se podrán generar graficas que determine un porcentaje óptimo de asfalto para el diseño 3 de la mezcla asfáltica en estudio.

#### **4.4. Fabricación de las Briquetas y Ensayo Marshall**

##### **Equipo:**

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza  $A \pm 0.1$  gr.
- Bandejas metálicas.
- Placa de calentamiento.
- Termómetro
- Espátula.
- Medidor de la estabilidad.
- Mezcla de agregados propios de la región.
- Asfalto 85-100

##### **Procedimiento**

- Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C. Por un lado se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 100 a 140 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 105 a 140°C.
- Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.
- Se pesan luego sobre un plato las diversas fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos. Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los

agregados el asfalto caliente, hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

- Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a  $107^{\circ}\text{C}$  ni en ningún caso someterse a recalentamiento.
- Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tiene 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo especial compuesto de:

Un disco circular de  $3\frac{7}{8}$ " 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".

- Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.



**Fotografía 4.1:** Pesado de la muestra

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.2:** Mezclado de la muestra de manera manual

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.3:** Colocado de la mezcla al molde cilíndrico de compactación

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.4:** Briquetas obtenidas

**Fuente.** Elaboración propia

#### 4.5. Ensayo a Realizarse en las Briquetas

Después de retirar las briquetas de los moldes se podrá obtener la estabilidad y fluencia a través del equipo MARSHALL.

#### 4.6. Estabilidad y Fluencia

- 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  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $140 \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) 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  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $70$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Si es inferior, deberán calentarse en baño maría 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  $50.8\text{ mm por minuto}$  ( $2'' / \text{minuto}$ ) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $150\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) se anota como valor de ESTABILIDAD MARSHALL.
- Mientras se realiza el ensayo de Estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.



**Fotografía 4.5:** Briquetas en baño maría a temperatura de 25°C

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.6:** Briquetas en baño maría a temperatura de 60°C

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.7:** Rompiendo la briqueta en el Equipo Marshall

**Fuente.** Elaboración propia

**Tabla de Diseño Marshall 1**

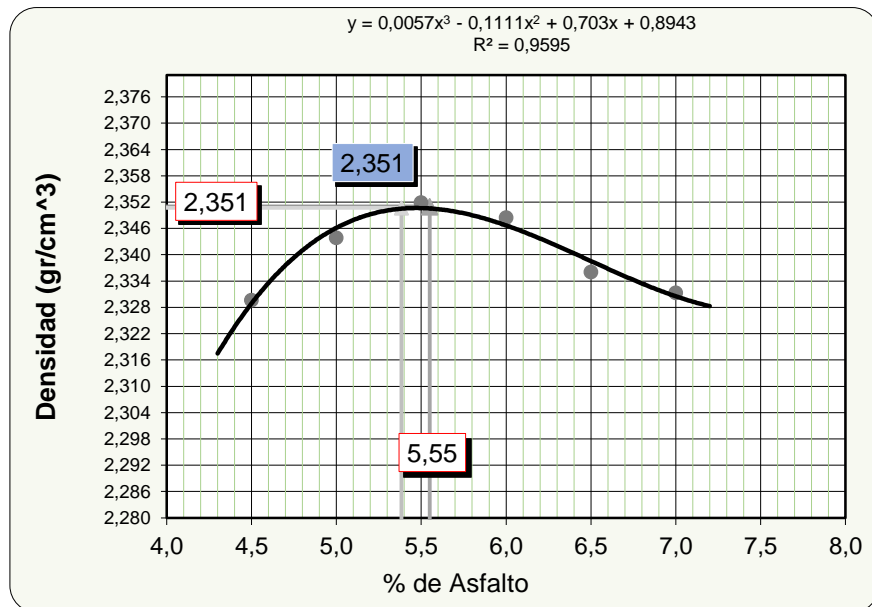
IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA ( CM )	% DE ASFALTO		PE SO B RIQUETA EN EL A IRE	PE SO B RIQUETA EN EL A IRE S.S.S.	PE SO B RIQUETA SUM ERGIDA EN A GUA	VOLU M EN B RIQUETA	DENSIDAD B RIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					FLUENCIA (PULG)				
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REA L ( Dr. )	PROM EDIO ( Drm.)	M AXIM A TEORICA	MEZCLA	AGREGA DOS	LLENO S DE A SFALTO	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECI ON ( AL TURA )	MEDIA f.c.	CORREGIDA	LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA	
																							mm
																							a
1	6,37	4,71	4,50	1172,7	1179,2	677,9	501,3	2,339						1105	2436,1		0,995			260	10,2		
2	6,35	4,71	4,50	1183,0	1187,5	682,5	505,0	2,343						1126	2482,4		1,000			220	8,7		
3	6,42	4,71	4,50	1186,5	1189,5	675,2	514,3	2,307	2,330	2,492	6,53	16,93	61,43	1150	2535,3	2484,6	0,983	0,993	2467,2	240	9,4	9,45	
4	6,56	5,26	5,00	1198,8	1203,9	689,5	514,4	2,330						1269	2797,6		0,951			255	10,0		
5	6,35	5,26	5,00	1186,3	1191,4	688,1	503,3	2,357						1176	2592,6		1,000			275	10,8		
6	6,46	5,26	5,00	1192,5	1195,2	686,5	508,7	2,344	2,344	2,473	5,23	16,86	68,96	1215	2678,6	2689,6	0,973	0,974	2619,7	240	9,4	10,10	
7	6,48	5,82	5,50	1202,2	1205,6	693,7	511,9	2,349						1079	2378,8		0,968			290	11,4		
8	6,37	5,82	5,50	1187,9	1191,2	684,9	506,3	2,346						1150	2535,3		0,995			260	10,2		
9	6,40	5,82	5,50	1173,7	1177,2	680,1	497,1	2,361	2,352	2,455	4,18	17,01	75,43	1205	2656,5	2523,5	0,988	0,983	2480,6	315	12,4	11,35	
10	6,33	6,38	6,00	1184,1	1186,5	684,6	501,9	2,359						1016	2239,9		1,005			350	13,8		
11	6,29	6,38	6,00	1172,2	1174,5	672,5	502,0	2,335						966	2107,6		1,016			375	14,8		
12	6,37	6,38	6,00	1184,8	1186,2	682,3	503,9	2,351	2,349	2,436	3,59	17,57	79,55	932	2054,7	2134,1	0,995	1,005	2144,7	325	12,8	13,78	
13	6,30	6,95	6,50	1184,4	1187,6	678,9	508,7	2,328						892	1966,5		1,013			360	14,2		
14	6,40	6,95	6,50	1184,5	1187,8	683,0	504,8	2,346						975	2149,5		0,988			340	13,4		
15	6,28	6,95	6,50	1190,3	1193,6	683,5	510,1	2,333	2,336	2,418	3,38	18,45	81,66	880	1940,0	2018,7	1,019	1,007	2032,8	375	14,8	14,11	
16	6,35	7,53	7,00	1173,9	1175,6	672,2	503,4	2,332						762	1679,9		1,000			395	15,6		
17	6,40	7,53	7,00	1185,3	1187,8	680,2	507,6	2,335						725	1598,3		0,988			410	16,1		
18	6,44	7,53	7,00	1187,9	1189,0	678,5	510,5	2,327	2,331	2,400	2,86	19,05	85,00	800	1763,7	1680,6	0,978	0,988	1660,5	380	15,0	15,55	

**Tabla 4.4:** Planilla de diseño Marshall 1

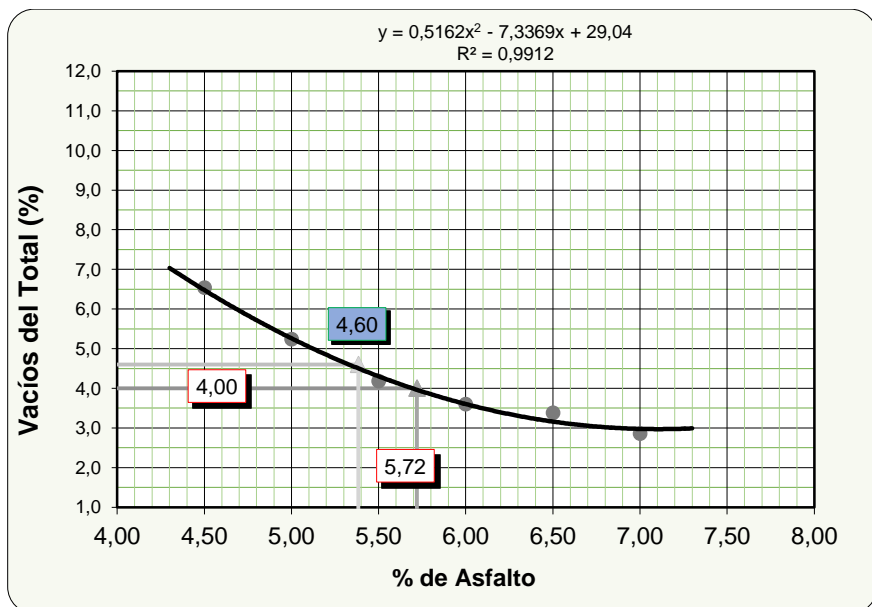
Fuente: Propia

Después de obtener la tabla de diseño Marshall 1 se procede a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

- Porcentaje de Asfalto vs. densidad de la probeta.

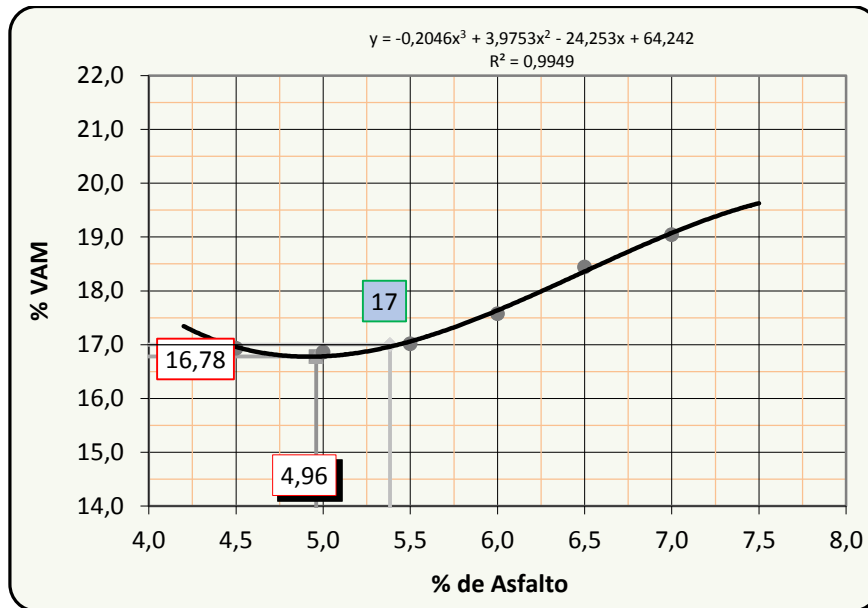


- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.

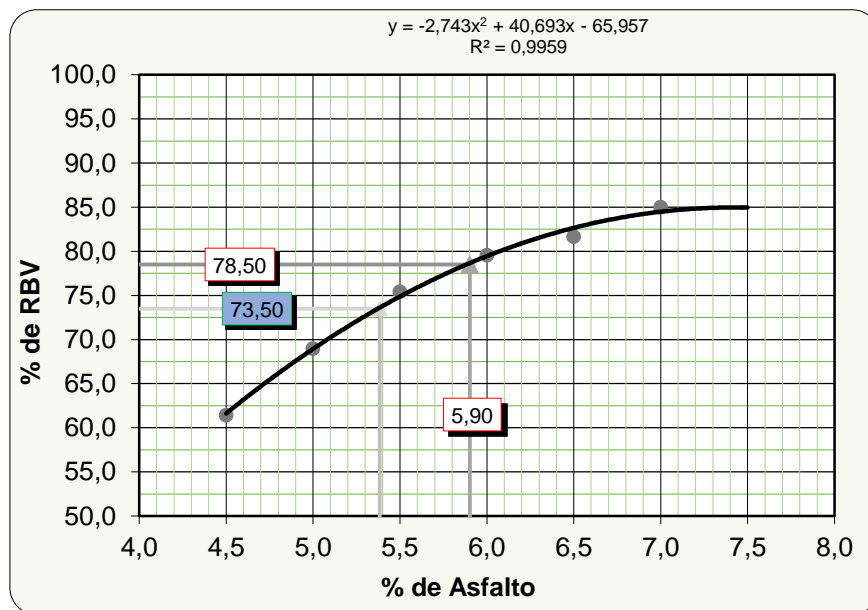




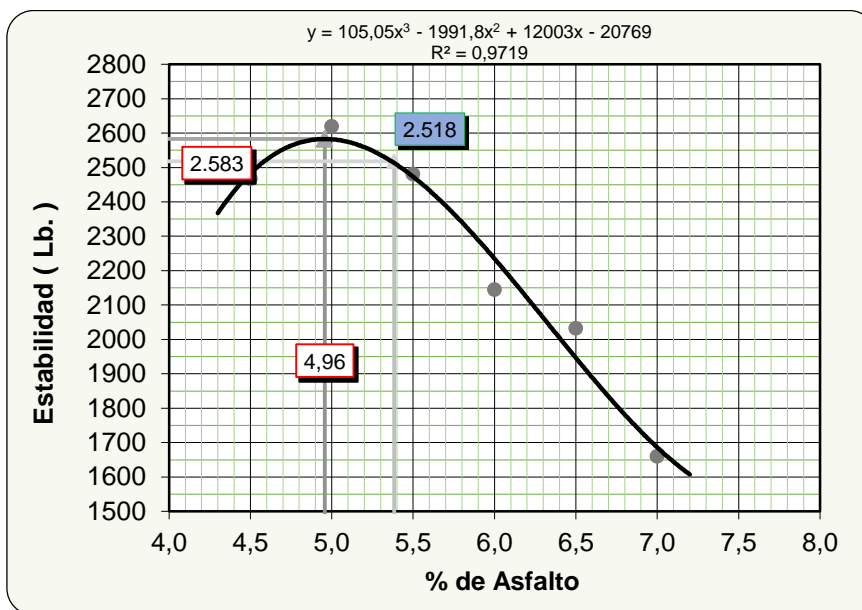
- Porcentaje de Asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)



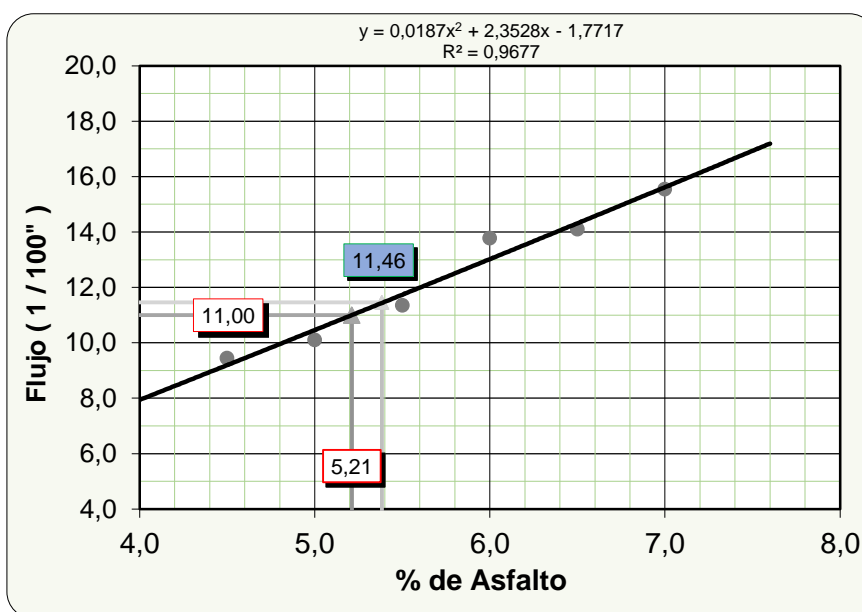
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV).



- Porcentaje de Asfalto vs. estabilidad corregida.



- Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo)



**Tablas del porcentaje óptimo conseguido del diseño MARSHALL 1**

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5,55	2,351	-----	-----
% VACÍOS	5,72	4,0	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5,90	78,5	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	4,96	22,3	<b>15</b>	
ESTABILIDAD (Lb)	4,96	2583,0	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,21	11,0	<b>8</b>	<b>14</b>
PROMEDIO ( % )	<b>5,38</b>	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5,38	2,351	-----	-----
% VACÍOS	5,38	4,60	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5,38	<b>73,50</b>	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	5,38	17,00		
ESTABILIDAD (Lb)	5,38	2518	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,38	11,46	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO</b>			<b>5,4</b>	

**Tabla de Diseño Marshall 2**

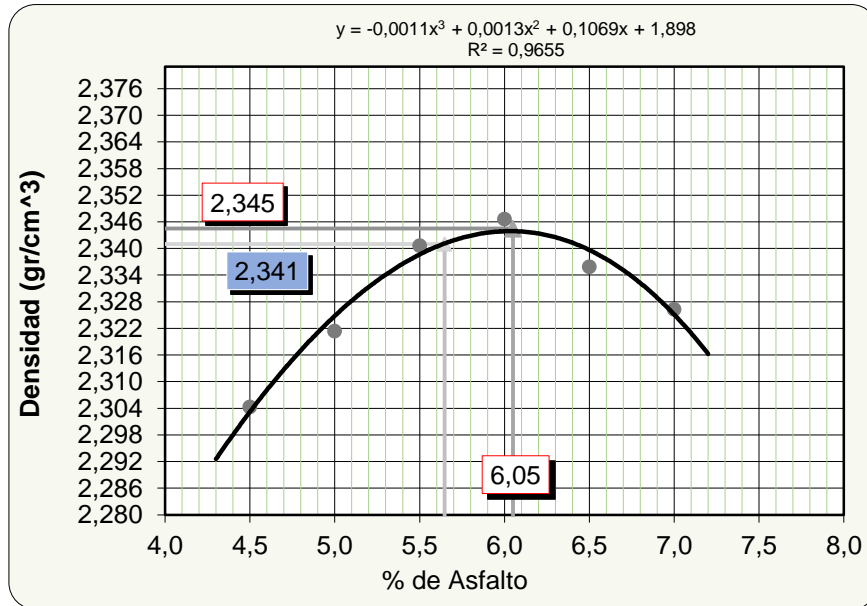
IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA ( CM )	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)						FLUENCIA (PULG)			
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL ( Dr. )	PROMEDIO ( Drm. )	MAXIMA TEORICA	MEZCLA ( Vv )	AGREGADOS ( VAM )	LLENOS DE ASFALTO ( RBV )	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION ( ALTURA )	MEDIA f.c.	CORREGIDA	LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA	
																							mm
																							a
1	6,42	4,71	4,50	1182,5	1184,5	674,5	510,0	2,319						902	1988,5		0,983			275	10,8		
2	6,38	4,71	4,50	1186,0	1189,5	672,5	517,0	2,294						865	1907,0		0,993			200	7,9		
3	6,45	4,71	4,50	1192,1	1195,2	677,0	518,2	2,300	<b>2,304</b>	2,494	7,62	17,91	57,44	965	2127,4	2007,7	0,975	0,983	1973,5	240	9,4	9,38	
4	6,50	5,26	5,00	1188,6	1192,1	682,3	509,8	2,332						1136	2504,4		0,963			290	11,4		
5	6,47	5,26	5,00	1193,5	1196,2	680,0	516,2	2,312						1056	2328,1		0,970			315	12,4		
6	6,35	5,26	5,00	1182,6	1184,6	675,0	509,6	2,321	<b>2,321</b>	2,475	6,22	17,73	64,93	1015	2237,7	2356,7	1,000	0,978	2304,9	240	9,4	11,09	
7	6,46	5,82	5,50	1192,5	1194,8	686,2	508,6	2,345						1000	2204,6		0,973			312	12,3		
8	6,37	5,82	5,50	1196,5	1198,6	684,9	513,7	2,329						1055	2325,9		0,995			332	13,1		
9	6,43	5,82	5,50	1188,2	1192,0	686,0	506,0	2,348	<b>2,341</b>	2,457	4,72	17,49	73,03	1152	2539,7	2356,7	0,980	0,983	2316,7	290	11,4	12,26	
10	6,39	6,38	6,00	1186,0	1189,6	685,5	504,1	2,353						988	2178,1		0,990			340	13,4		
11	6,45	6,38	6,00	1190,0	1192,3	685,0	507,3	2,346						1095	2414,0		0,975			375	14,8		
12	6,30	6,38	6,00	1188,5	1192,2	684,6	507,6	2,341	<b>2,347</b>	2,438	3,75	17,72	78,84	1022	2253,1	2281,8	1,013	0,993	2265,8	365	14,4	14,17	
13	6,33	6,95	6,50	1187,5	1189,0	679,5	509,5	2,331						925	2039,3		1,005			375	14,8		
14	6,39	6,95	6,50	1190,0	1193,0	685,2	507,8	2,343						888	1957,7		0,990			350	13,8		
15	6,36	6,95	6,50	1192,2	1193,5	682,6	510,9	2,334	<b>2,336</b>	2,420	3,47	18,53	81,30	842	1856,3	1951,1	0,998	0,998	1947,2	390	15,4	14,63	
16	6,44	7,53	7,00	1188,0	1189,9	680,0	509,9	2,330						813	1792,3		0,978			422	16,6		
17	6,40	7,53	7,00	1182,6	1183,6	672,5	511,1	2,314						845	1862,9		0,988			410	16,1		
18	6,47	7,53	7,00	1186,6	1188,0	679,9	508,1	2,335	<b>2,326</b>	2,402	3,14	19,30	83,73	900	1984,1	1879,8	0,970	0,978	1838,4	435	17,1	16,63	

**Tabla 4.5:** Planilla de diseño Marshall 2

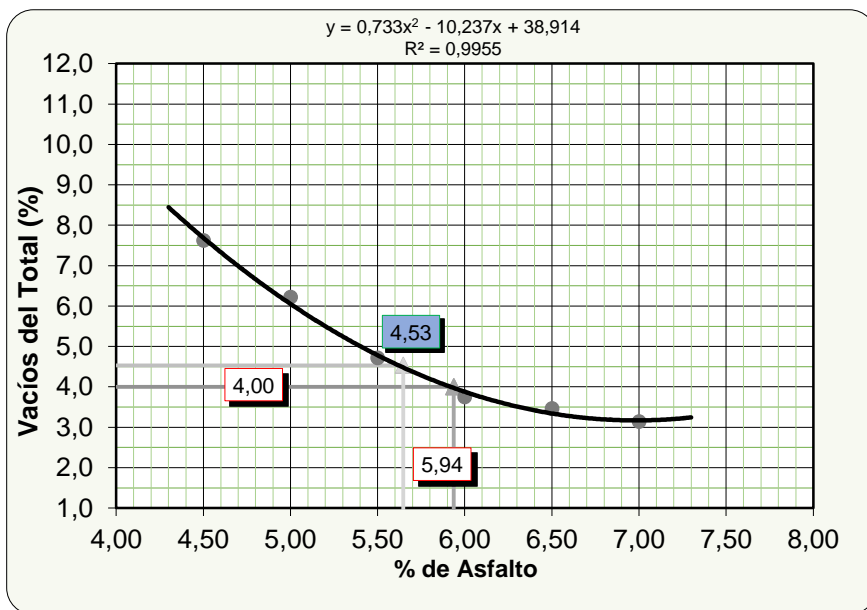
Fuente: Propia

Después de obtener la tabla de diseño Marshall 2 se procede a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

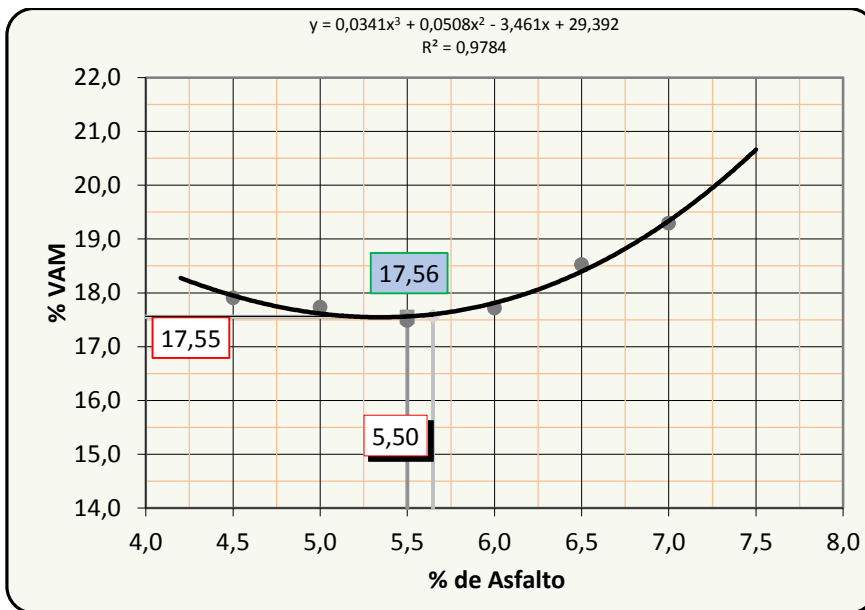
- Porcentaje de Asfalto vs. densidad de la probeta.



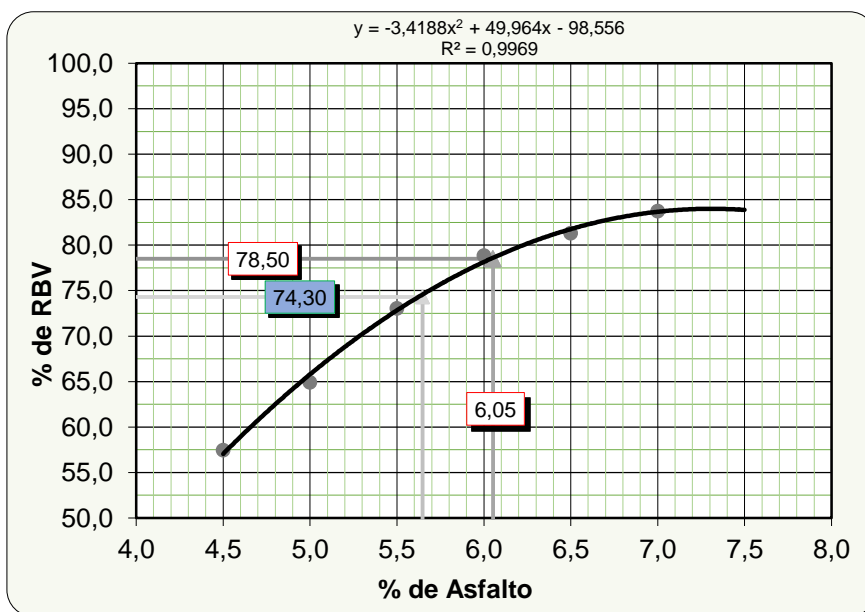
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.



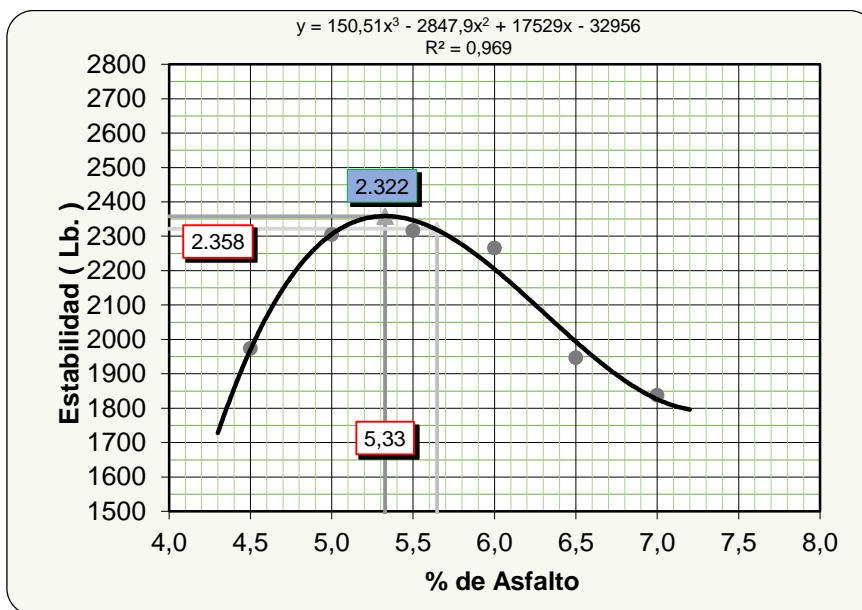
- Porcentaje de Asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)



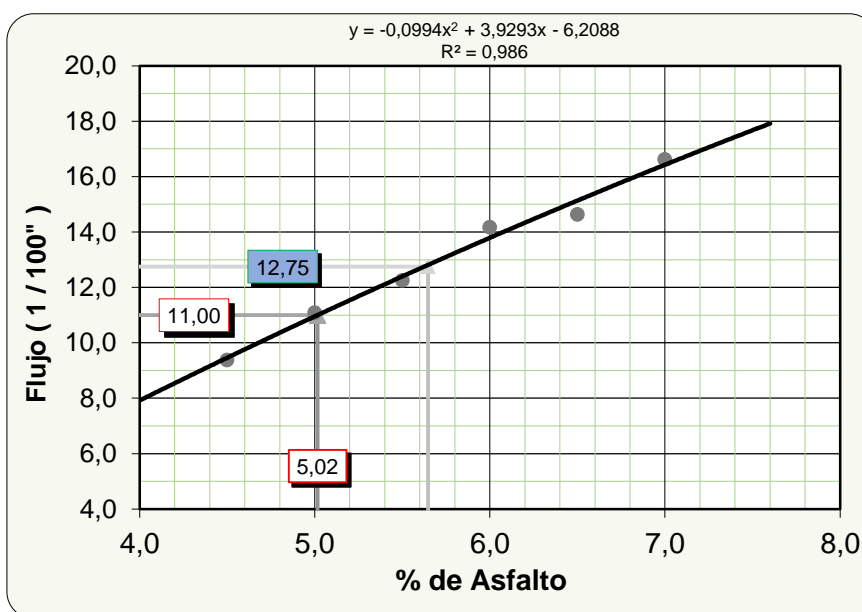
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV)



- Porcentaje de Asfalto vs. estabilidad corregida



- Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo)



**Tablas del porcentaje óptimo conseguido del diseño MARSHALL 2**

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	6,05	2,345	-----	-----
% VACÍOS	5,94	4,0	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	6,05	78,5	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	5,50	22,3	<b>15</b>	
ESTABILIDAD (Lb)	5,33	2358,0	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,02	11,0	<b>8</b>	<b>14</b>
PROMEDIO ( % )	<b>5,65</b>	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5,65	2,341	-----	-----
% VACÍOS	5,65	4,53	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5,65	74,30	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	5,65	17,56		
ESTABILIDAD (Lb)	5,65	2322	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,65	12,75	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO</b>			<b>5,6</b>	



**Tabla de Diseño Marshall 3**

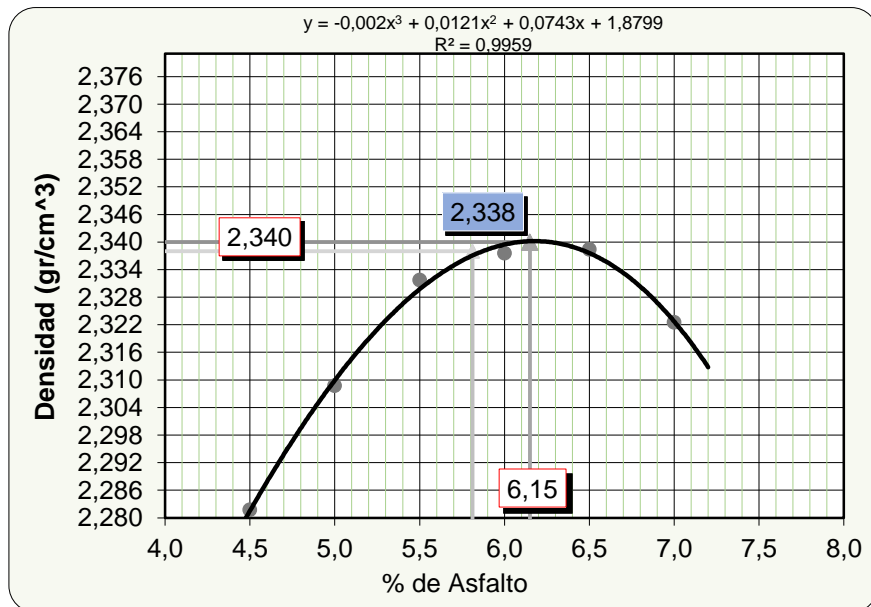
IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA ( CM )	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE (gr)	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. (gr)	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA (gr)	VOLUMEN BRIQUETA (cm3)	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					FLUENCIA (PULG)										
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL ( Dr. )	PROMEDIO ( Drm. )	MAXIMA TEORICA (kg/cm3)	MEZCLA ( Vv )	AGREGADOS ( VAM )	LLENOS DE ASFALTO ( RBV )	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION ( ALTURA )	MEDIA f.c.	CORREGIDA	LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA							
																							mm						
																							a	b	c	d	e	f	g
1	6,46	4,71	4,50	1188,0	1190,2	665,5	524,7	2,264						788	1737,2		0,973			260	10,2								
2	6,36	4,71	4,50	1190,2	1192,5	676,8	515,7	2,308						817	1801,2		0,998			220	8,7								
3	6,38	4,71	4,50	1187,5	1188,9	666,5	522,4	2,273	<b>2,282</b>	2,497	8,60	18,79	54,21	855	1884,9	1807,8	0,993	0,988	1786,1	240	9,4	9,45							
4	6,43	5,26	5,00	1192,5	1193,5	675,5	518,0	2,302						922	2032,6		0,980			265	10,4								
5	6,44	5,26	5,00	1185,5	1187,5	673,5	514,0	2,306						955	2105,4		0,978			275	10,8								
6	6,36	5,26	5,00	1190,0	1192,2	678,8	513,4	2,318	<b>2,309</b>	2,477	6,81	18,26	62,73	905	1995,2	2044,4	0,998	0,985	2013,7	240	9,4	10,24							
7	6,47	5,82	5,50	1190,0	1193,9	681,2	512,7	2,321						1171	2581,6		0,970			320	12,6								
8	6,44	5,82	5,50	1192,2	1193,2	684,5	508,7	2,344						1000	2204,6		0,978			288	11,3								
9	6,38	5,82	5,50	1187,5	1189,0	679,5	509,5	2,331	<b>2,332</b>	2,459	5,16	17,88	71,16	988	2178,1	2321,4	0,993	0,980	2275,0	345	13,6	12,51							
10	6,46	6,38	6,00	1190,4	1192,5	683,1	509,4	2,337						1034	2279,6		0,973			330	13,0								
11	6,45	6,38	6,00	1191,9	1193,2	685,5	507,7	2,348						1005	2215,6		0,975			350	13,8								
12	6,40	6,38	6,00	1186,0	1187,9	678,5	509,4	2,328	<b>2,338</b>	2,440	4,20	18,11	76,83	955	2105,4	2200,2	0,988	0,978	2151,8	325	12,8	13,19							
13	6,52	6,95	6,50	1194,7	1195,7	681,6	514,1	2,324						974	2147,3		0,958			450	17,7								
14	6,44	6,95	6,50	1181,5	1182,7	678,8	503,9	2,345						1005	2215,6		0,978			405	15,9								
15	6,43	6,95	6,50	1185,8	1187,5	682,2	505,3	2,347	<b>2,338</b>	2,422	3,44	18,52	81,44	922	2032,6	2131,8	0,980	0,972	2072,2	420	16,5	16,73							
16	6,42	7,53	7,00	1180,2	1182,2	673,2	509,0	2,319						812	1790,1		0,983			500	19,7								
17	6,35	7,53	7,00	1190,2	1191,5	678,5	513,0	2,320						920	2028,2		1,000			444	17,5								
18	6,45	7,53	7,00	1188,0	1190,1	680,0	510,1	2,329	<b>2,323</b>	2,404	3,37	19,50	82,70	888	1957,7	1925,4	0,975	0,986	1898,4	485	19,1	18,75							

**Tabla 4.6:** Planilla de diseño Marshall 3

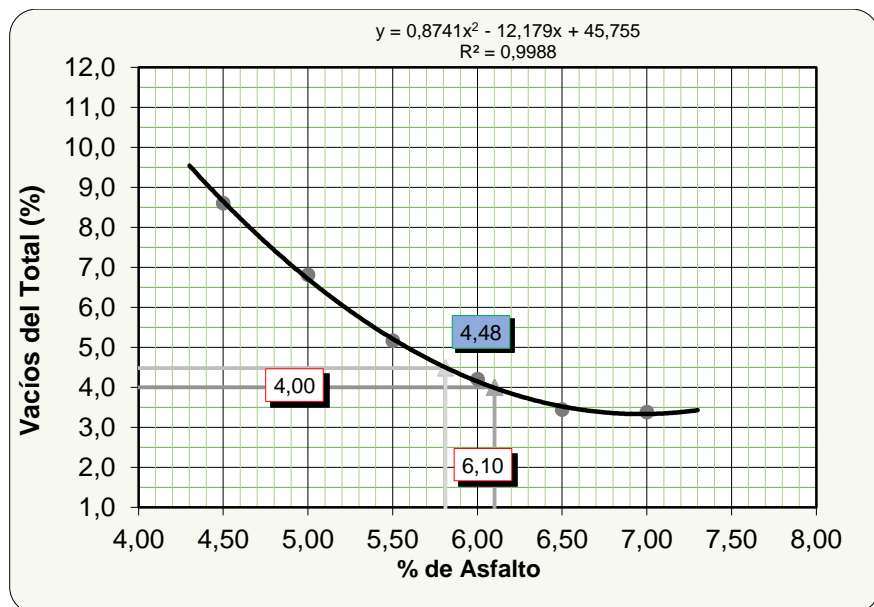
Fuente: Propia

Después de obtener la tabla de diseño Marshall 3 se procede a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

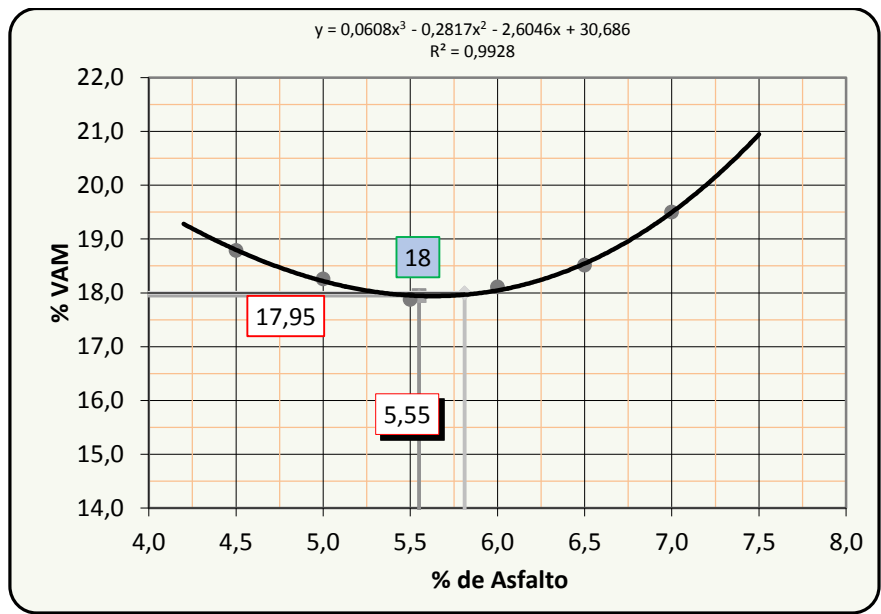
- Porcentaje de Asfalto vs. densidad de la probeta.



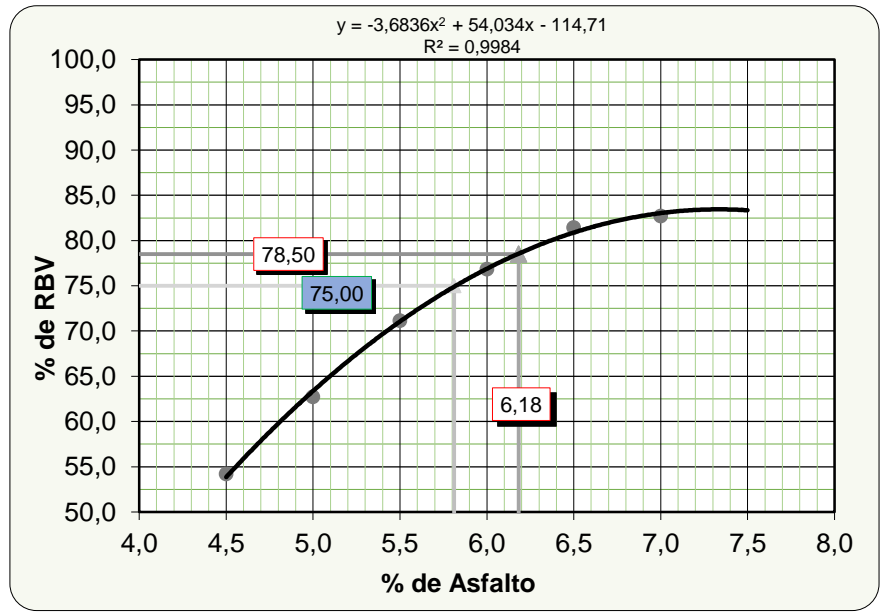
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.



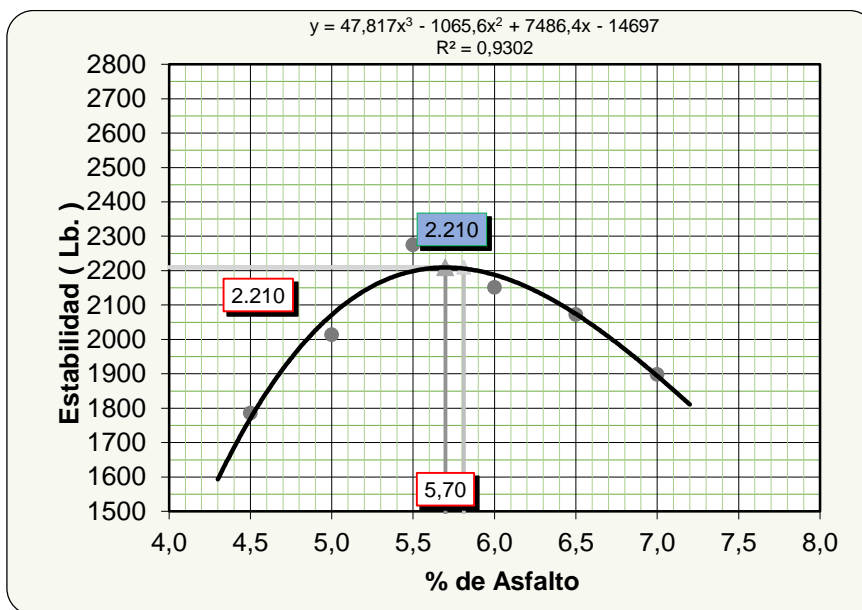
- Porcentaje de Asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)



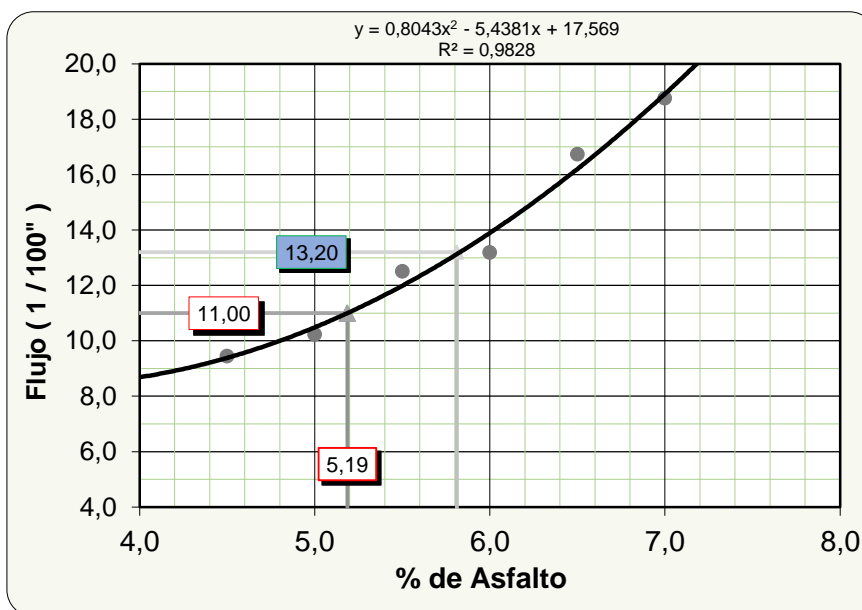
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV)



- Porcentaje de Asfalto vs. estabilidad corregida



- Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo)



### Tablas del porcentaje óptimo conseguido del diseño MARSHALL 3

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	6,15	2,340	-----	-----
% VACÍOS	6,10	4,0	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	6,18	78,5	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	5,55	22,3	<b>15</b>	
ESTABILIDAD (Lb)	5,70	2209,5	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,19	11,0	<b>8</b>	<b>14</b>
PROMEDIO ( % )	<b>5,81</b>	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
7	5,81	2,338	-----	-----
% VACÍOS	5,81	4,48	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5,81	75,00	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	5,81	18,00		
ESTABILIDAD (Lb)	5,81	2210	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,81	13,20	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO</b>			<b>5,8</b>	

## 4.7. Datos Obtenidos del Ensayo Marshall

### 4.7.1. Datos Obtenidos del Ensayo Marshall No. 1

IDENTIFICACIÓN	ALTURA BRIQUETA (CM)	BASE AGREGADO (%)	PESO BRIQUETA EN EL AIRE (gr)	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. (gr)	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA (gr)	VOLUMEN BRIQUETA (cm <sup>3</sup> )	ESTABILIDAD (Lb) LECT. DIAL	FLUENCIA (PULG) LECT. DIAL
1	6,37	4,71	1172,7	1179,2	677,9	501,3	1105	260
2	6,35	4,71	1183,0	1187,5	682,5	505,0	1126	220
3	6,42	4,71	1186,5	1189,5	675,2	514,3	1150	240
4	6,56	5,26	1198,8	1203,9	689,5	514,4	1269	255
5	6,35	5,26	1186,3	1191,4	688,1	503,3	1176	275
6	6,46	5,26	1192,5	1195,2	686,5	508,7	1215	240
7	6,48	5,82	1202,2	1205,6	693,7	511,9	1079	290
8	6,37	5,82	1187,9	1191,2	684,9	506,3	1150	260
9	6,40	5,82	1173,7	1177,2	680,1	497,1	1205	315
10	6,33	6,38	1184,1	1186,5	684,6	501,9	1016	350
11	6,29	6,38	1172,2	1174,5	672,5	502,0	956	375
12	6,37	6,38	1184,8	1186,2	682,3	503,9	932	325
13	6,30	6,95	1184,4	1187,6	678,9	508,7	892	360
14	6,40	6,95	1184,5	1187,8	683,0	504,8	975	340
15	6,28	6,95	1190,3	1193,6	683,5	510,1	880	375
16	6,35	7,53	1173,9	1175,6	672,2	503,4	762	395
17	6,40	7,53	1185,3	1187,8	680,2	507,6	725	410
18	6,44	7,53	1187,9	1189,0	678,5	510,5	800	380

#### 4.7.2. Datos Obtenidos del Ensayo Marshall No. 2

IDENTIFICACIÓN	ALTURA BRIQUETA (CM)	BASE AGREGADO (%)	PESO BRIQUETA EN EL AIRE (gr)	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. (gr)	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA (gr)	VOLUMEN BRIQUETA (cm <sup>3</sup> )	ESTABILIDAD (Lb) LECT. DIAL	FLUENCIA (PULG) LECT. DIAL
1	6,42	4,71	1182,5	1184,5	674,5	510,0	902	275
2	6,38	4,71	1186,0	1189,5	672,5	517,0	865	200
3	6,45	4,71	1192,1	1195,2	677,0	518,2	965	240
4	6,50	5,26	1188,6	1192,1	682,3	509,8	1136	290
5	6,47	5,26	1193,5	1196,2	680,0	516,2	1056	315
6	6,35	5,26	1182,6	1184,6	675,0	509,6	1015	240
7	6,46	5,82	1192,5	1194,8	686,2	508,6	1000	312
8	6,37	5,82	1196,5	1198,6	684,9	513,7	1055	332
9	6,43	5,82	1188,2	1192,0	686,0	506,0	1152	290
10	6,39	6,38	1186,0	1189,6	685,5	504,1	988	340
11	6,45	6,38	1190,0	1192,3	685,0	507,3	1095	375
12	6,30	6,38	1188,5	1192,2	684,6	507,6	1022	365
13	6,33	6,95	1187,5	1189,0	679,5	509,5	925	375
14	6,39	6,95	1190,0	1193,0	685,2	507,8	888	350
15	6,36	6,95	1192,2	1193,5	682,6	510,9	842	390
16	6,44	7,53	1188,0	1189,9	680,0	509,9	813	422
17	6,40	7,53	1182,6	1183,6	672,5	511,1	845	410
18	6,47	7,53	1186,6	1188,0	679,9	508,1	900	435

### 4.7.3. Datos Obtenidos del Ensayo Marshall No. 3

IDENTIFICACIÓN	ALTURA BRIQUETA (CM)	BASE AGREGADO (%)	PESO BRIQUETA EN EL AIRE (gr)	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. (gr)	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA (gr)	VOLUMEN BRIQUETA (cm <sup>3</sup> )	ESTABILIDAD (Lb) LECT. DIAL	FLUENCIA (PULG) LECT. DIAL
1	6,46	4,71	1188,0	1190,2	665,5	524,7	788	260
2	6,36	4,71	1190,2	1192,5	676,8	515,7	817	220
3	6,38	4,71	1187,5	1188,9	666,5	522,4	855	240
4	6,43	5,26	1192,5	1193,5	675,5	518,0	922	265
5	6,44	5,26	1185,5	1187,5	673,5	514,0	955	275
6	6,36	5,26	1190,0	1192,2	678,8	513,4	905	240
7	6,47	5,82	1190,0	1193,9	681,2	512,7	1171	320
8	6,44	5,82	1192,2	1193,2	684,5	508,7	1000	288
9	6,38	5,82	1187,5	1189,0	679,5	509,5	988	345
10	6,46	6,38	1190,4	1192,5	683,1	509,4	1034	330
11	6,45	6,38	1191,9	1193,2	685,5	507,7	1005	350
12	6,40	6,38	1186,0	1187,9	678,5	509,4	955	325
13	6,52	6,95	1194,7	1195,7	681,6	514,1	974	450
14	6,44	6,95	1181,5	1182,7	678,8	503,9	1005	405
15	6,43	6,95	1185,8	1187,5	682,2	505,3	922	420
16	6,42	7,53	1180,2	1182,2	673,2	509,0	812	500
17	6,35	7,53	1190,2	1191,5	678,5	513,0	920	444
18	6,45	7,53	1188,0	1190,1	680,0	510,1	888	485

**Tabla 4.7:** Planilla de resultados diseño Marshall 1-2-3

**Fuente:** Propia



#### 4.8. Planilla de los Resultados

En las siguientes tablas se muestran las planillas de los resultados realizados para los 3 ensayos Marshall haciendo varias las proporciones de los agregados, y del cemento asfáltico obteniendo como resultado un porcentaje óptimo de cemento asfáltico para cada diseño y con dicho porcentaje óptimo de cemento asfáltico se realizara las briquetas correspondientes para nuestro estudio haciendo varias la temperatura de compactado.

##### Resultados obtenidos del diseño Marshall 1

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5,38	2,351	-----	-----
% VACÍOS	5,38	4,60	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5,38	73,50	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	5,38	17,00		
ESTABILIDAD (Lb)	5,38	2518	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,38	11,46	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO</b>			<b>5,4</b>	

##### Resultados obtenidos del diseño Marshall 2

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5,65	2,341	-----	-----
% VACÍOS	5,65	4,53	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5,65	74,30	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	5,65	17,56		
ESTABILIDAD (Lb)	5,65	2322	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,65	12,75	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO</b>			<b>5,6</b>	

### Resultados obtenidos del diseño Marshall 3

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5,81	2,338	-----	-----
% VACÍOS	5,81	4,48	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5,81	75,00	<b>75</b>	<b>82</b>
V.A.M	5,81	18,00		
ESTABILIDAD (Lb)	5,81	2210	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,81	13,20	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO</b>			<b>5,8</b>	

#### 4.9. Mezclas Asfálticas Templadas

##### 4.9.1. Fabricación de Briquetas para el Estudio de las Mezclas Asfálticas Templadas a Diferentes Temperaturas y Porcentajes Óptimos de Asfalto Diseño Marshall.

#### Procedimiento:

- Después de calcular los porcentajes óptimos del cemento asfáltico correspondientes a cada uno de los 3 diseños obteniendo DISEÑO 1 = 5.40%, DISEÑO 2 = 5.60%, DISEÑO 3 = 5.80% de los diseños patrón. Se procede a pesar las muestras para su respectivo mezclado y compactación, en las siguientes tablas se muestra los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de las briquetas con muestra asfáltica templada.
- Seguidamente se procede a pesar los agregados según especifica la planilla de dosificación y se calientan en la plancha a una temperatura de 115 a 120 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 137°C.

- Al conseguir las temperaturas especificadas anteriormente tanto para los agregados y el asfalto se realiza el mezclado de los agregados y el porcentaje óptimo de asfalto de manera manual moviendo la mezcla para evitar sobrecalentamientos locales, en paralelo se coloca el molde y base a la plancha a una temperatura entre 100 y 150°C para su respectiva limpieza y que este se mantenga a una misma temperatura que la mezcla.
- Al realizar el mezclado se va controlando con el termómetro laser que la temperatura de mezclado este entre el rango de 105 y 140°C. de mezcla asfáltica templada.
- Posteriormente se mide la temperatura a la que se compactara la mezcla en este caso de 110, 120, 130 y 140°C, Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tiene 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo 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".
- Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 12 briquetas para cada diseño al ser 3 diseños con diversas proporciones de agregados y sus respectivos porcentajes óptimos de asfalto, se llegó a fabricar un total de 36 briquetas para este estudio. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente, luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.
- En síntesis se realiza el mismo procedimiento del diseño Marshall que se ejecuta para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto.



**Fotografía 4.8:** Realizando el pesado de los agregados con el porcentaje óptimo de DISEÑO 1 = 5.40%, DISEÑO 2 = 5.60%, DISEÑO 3 = 5.80% de asfalto

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.9:** Midiendo la temperatura del asfalto con termómetro laser

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.10:** Lectura de temperatura de mezcla para su compactación en 110, 120, 130 y 140°C

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.11:** Sacado de briqueta con gato hidráulico

**Fuente.** Elaboración propia



**Fotografía 4.12:** Briqueta obtenida de estudio

**Fuente.** Elaboración propia

#### 4.9.1.1 Mezclas Asfálticas Templadas Realizadas con el Diseño Marshall no. 1

Granulometría proyectada:

Grava: 18%

Gravilla: 34.7%

Arena: 47.3%

% óptimo de asfalto = 5,4 %

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,40%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2
1/2"	81,9	18,1	16,8	191,1	205,3
3/8"	79,7	20,3	2,2	25,5	230,8
Nº4	49,0	51,0	30,6	347,7	578,5
Nº10	38,4	61,6	10,6	120,6	699,1
Nº16	29,0	71,0	9,5	107,3	806,4
Nº40	15,2	84,8	13,8	156,6	963,0
Nº80	9,5	90,5	5,7	64,2	1027,2
Nº200	5,9	94,1	3,6	40,5	1067,7
Filler	0	100,0	5,9	67,5	1135,2
<b>Peso Total=</b>				<b>1135,2</b>	

Peso Muestra= **1135,2 gr.**

Peso Asfalto= **64,8 gr.**

Peso Total Material + C. Asf.= **1200,0 gr.**

#### 4.9.1.2 Planilla de Diseño Marshall 1 de Mezclas Asfálticas Templadas con Variación de Temperaturas.

Nº Probeta	Altura de Probeta	Base mezcla %	Peso Probeta en el aire grs.	Peso Probeta Sat. Sup. Seca grs.	Peso Probeta Sumergida en Agua grs.	Vol. Probeta CC	Estabilidad LEC. DIAL	Fluencia En 1/100 pulgadas
<b>Ensayo Realizado a 110 °C de Compactación</b>								
1	6,70	5,38	1172,7	1179,2	672,2	507,0	1016	0,10
2	6,67	5,38	1198,8	1203,9	687,4	516,5	1079	0,10
3	6,73	5,38	1202,2	1205,6	685,5	520,1	1000	0,11

<b>Ensayo Realizado a 120 °C de Compactación</b>								
1	6,55	5,38	1183,0	1189,8	682,2	507,6	1176	0,11
2	6,60	5,38	1186,3	1191,4	683,5	507,9	1088	0,11
3	6,52	5,38	1187,9	1190,0	680,0	510,0	1150	0,11
<b>Ensayo Realizado a 130°C de Compactación</b>								
1	6,39	5,38	1192,5	1195,2	688,9	506,3	1120	0,12
2	6,40	5,38	1188,0	1191,2	684,5	506,7	1156	0,13
3	6,46	5,38	1185,2	1188,0	685,5	502,5	1180	0,12
<b>Ensayo Realizado a 140 °C de Compactación</b>								
1	6,35	5,38	1179,5	1181,2	681,5	499,7	1205	0,13
2	6,30	5,38	1183,5	1185,5	685,2	500,3	1255	0,14
3	6,26	5,38	1186,6	1188,0	687,2	500,8	1188	0,13

#### 4.9.1.3 Mezclas Asfálticas Templadas Realizadas con el Diseño Marshall No. 2

Granulometría proyectada:

Grava: 18%

Gravilla: 29.3%

Arena: 52.7%

% óptimo de asfalto = 5,6%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,60%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2
1/2"	82,1	17,9	16,6	188,4	202,6
3/8"	80,1	19,9	2,1	23,3	225,9
Nº4	54,0	46,0	26,1	295,5	521,4
Nº10	42,8	57,2	11,2	127,1	648,5
Nº16	32,2	67,8	10,5	119,2	767,6
Nº40	16,9	83,1	15,4	174,0	941,6
Nº80	10,6	89,4	6,3	71,4	1013,0
Nº200	6,6	93,4	4,0	45,0	1057,9
Filler	0	100,0	6,6	74,9	1132,8
<b>Peso Total=</b>				<b>1132,8</b>	

Peso Muestra= **1132,8 gr.**

Peso Asfalto= **67,2 gr.**

Peso Total Material + C. Asf.= **1200,0 gr.**

#### 4.9.1.4 Planilla de Diseño Marshall 2 de Mezclas Asfálticas Templadas con Variación de Temperaturas.

N° Probeta	Altura de Probeta	Base mezcla %	Peso Probeta en el aire grs.	Peso Probeta Sat. Sup. Seca grs.	Peso Probeta Sumergida en Agua grs.	Vol. Probeta CC	Estabilidad LEC. DIAL	Fluencia En 1/100 pulgadas
<b>Ensayo Realizado a 110 °C de Compactación</b>								
1	6,60	5,65	1176,6	1180,2	665,5	514,7	1000	0,11
2	6,58	5,65	1180,0	1184,5	668,2	516,3	900	0,11
3	6,52	5,65	1190,0	1192,6	675,5	517,1	956	0,11
<b>Ensayo Realizado a 120 °C de Compactación</b>								
1	6,50	5,65	1196,5	1199,0	683,2	515,8	1076	0,11
2	6,55	5,65	1194,5	1196,5	680,0	516,5	1088	0,12
3	6,48	5,65	1185,0	1188,5	678,5	510,0	975	0,12
<b>Ensayo Realizado a 130 °C de Compactación</b>								
1	6,36	5,65	1192,5	1195,0	684,5	510,5	1120	0,13
2	6,40	5,65	1188,0	1190,2	682,2	508,0	1056	0,13
3	6,40	5,65	1185,2	1188,0	678,5	509,5	1080	0,12
<b>Ensayo Realizado a 140 °C de Compactación</b>								
1	6,28	5,65	1182,5	1183,9	680,5	503,4	1120	0,13
2	6,25	5,65	1186,5	1188,2	685,2	503,0	1055	0,14
3	6,32	5,65	1180,0	1182,5	684,0	498,5	1200	0,14

#### 4.9.1.5 Mezclas Asfálticas Templadas Realizadas con el Diseño Marshall No. 3

Granulometría proyectada:

Grava: 18%

Gravilla: 23.8%

Arena: 58.2%

% óptimo de asfalto = 5,8%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,80%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,2	14,2



<b>1/2"</b>	82,3	17,7	<b>16,4</b>	185,6	199,8
<b>3/8"</b>	80,5	19,5	<b>1,9</b>	21,1	220,9
<b>N°4</b>	59,0	41,0	<b>21,5</b>	242,5	463,4
<b>N°10</b>	47,2	52,8	<b>11,8</b>	133,7	597,1
<b>N°16</b>	35,6	64,4	<b>11,6</b>	131,2	728,4
<b>N°40</b>	18,6	81,4	<b>16,9</b>	191,6	919,9
<b>N°80</b>	11,7	88,3	<b>7,0</b>	78,6	998,6
<b>N°200</b>	7,3	92,7	<b>4,4</b>	49,5	1048,0
<b>Filler</b>	0	100,0	<b>7,3</b>	82,4	1130,4
	<b>Peso Total=</b>			<b>1130,4</b>	

<b>Peso Muestra=</b>	<b>1130,4 gr.</b>
<b>Peso Asfalto=</b>	<b>69,6 gr.</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.=</b>	<b>1200,0 gr.</b>

#### 4.9.1.6 Planilla Diseño Marshall 3 de Mezclas Asfálticas Templadas con Variación de Temperaturas.

N° Probeta	Altura de Probeta	Base mezcla %	Peso Probeta en el aire grs.	Peso Probeta Sat. Sup. Seca grs.	Peso Probeta Sumergida en Agua grs.	Vol. Probeta CC	Estabilidad LEC. DIAL	Fluencia En 1/100 pulgadas
<b>Ensayo Realizado a 110 °C de Compactación</b>								
1	6,45	5,81	1185,5	1188,9	668,9	520,0	800	0,11
2	6,40	5,81	1182,2	1185,6	664,5	521,1	766	0,12
3	6,52	5,81	1186,5	1190,0	665,0	525,0	720	0,12
<b>Ensayo Realizado a 120 °C de Compactación</b>								
1	6,36	5,81	1192,2	1195,1	680,0	515,1	950	0,13
2	6,42	5,81	1190,0	1193,2	677,1	516,1	890	0,12
3	6,39	5,81	1187,5	1189,0	675,5	513,5	900	0,13
<b>Ensayo Realizado a 130 °C de Compactación</b>								
1	6,35	5,81	1196,5	1197,9	685,5	512,4	1000	0,14
2	6,30	5,81	1188,2	1190,0	682,9	507,1	988	0,13
3	6,29	5,81	1190,0	1192,6	680,2	512,4	922	0,13
<b>Ensayo Realizado a 140 °C de Compactación</b>								
1	6,32	5,81	1186,5	1187,6	681,2	506,4	1025	0,14
2	6,20	5,81	1193,5	1194,2	685,2	509,0	1069	0,14
3	6,25	5,81	1187,6	1188,2	684,0	504,2	1000	0,14

#### 4.10. Planilla de Resultados

##### Resultados tomando el diseño Marshall 1

Granulometría proyectada:

Grava: 18%

Gravilla: 34.7%

Arena: 47.3%

% óptimo de asfalto = 5.4%

<b>DISEÑO MARSHALL 1</b>			
<b>Ensayo Realizado a 110 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2098,6	Fluencia(pulg)	10,24
<b>Ensayo Realizado a 120 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2387,0	Fluencia(pulg)	11,15
<b>Ensayo Realizado a 130 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2497,0	Fluencia(pulg)	12,07
<b>Ensayo Realizado a 140 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2713,7	Fluencia(pulg)	13,19

##### Resultados tomando el diseño Marshall 2

Granulometría proyectada:

Grava: 18%

Gravilla: 29.3%

Arena: 52.7%

% óptimo de asfalto = 5,6%

<b>DISEÑO MARSHALL 2</b>			
<b>Ensayo Realizado a 110 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	1992,5	Fluencia(pulg)	10,83
<b>Ensayo Realizado a 120 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2215,8	Fluencia(pulg)	11,81
<b>Ensayo Realizado a 130 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2371,0	Fluencia(pulg)	12,53
<b>Ensayo Realizado a 140 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2523,8	Fluencia(pulg)	13,65

### Resultados tomando el Diseño Marshall 3.

Granulometría proyectada:

Grava: 18%

Gravilla: 23.8%

Arena: 58.2%

% óptimo de asfalto = 5,8%

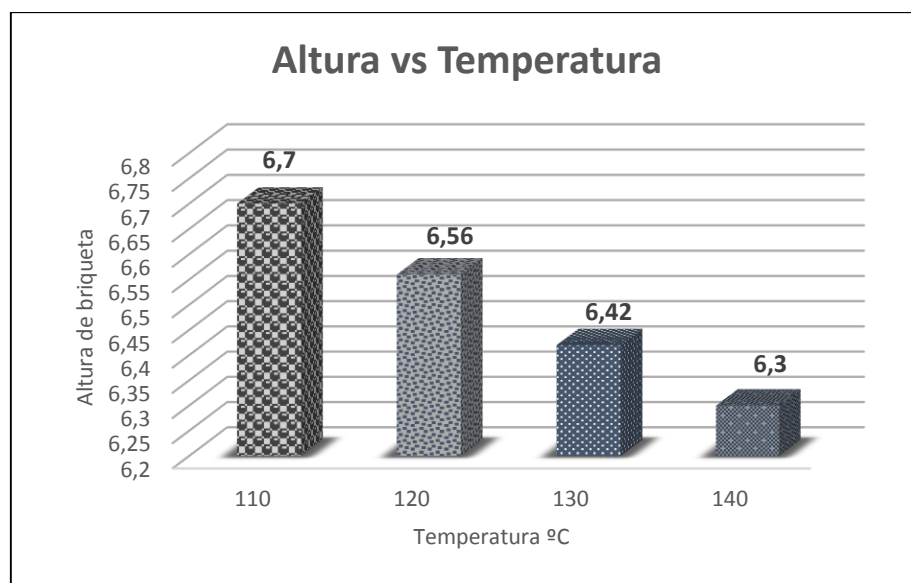
<b>DISEÑO MARSHALL 3</b>			
<b>Ensayo Realizado a 110 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	1636,0	Fluencia(pulg)	11,61
<b>Ensayo Realizado a 120 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	1993,7	Fluencia(pulg)	12,60
<b>Ensayo Realizado a 130 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2158,7	Fluencia(pulg)	13,19
<b>Ensayo Realizado a 140 °C de Compactación</b>			
Estabilidad (lb)	2331,0	Fluencia(pulg)	13,91

#### 4.11 Trabajabilidad de Mezclas Asfálticas

- Para poder relacionar o medir la trabajabilidad en una mezcla asfáltica nos basaremos en las alturas obtenidas de cada una de las briquetas fabricadas generando graficas en relacionando altura vs temperatura.

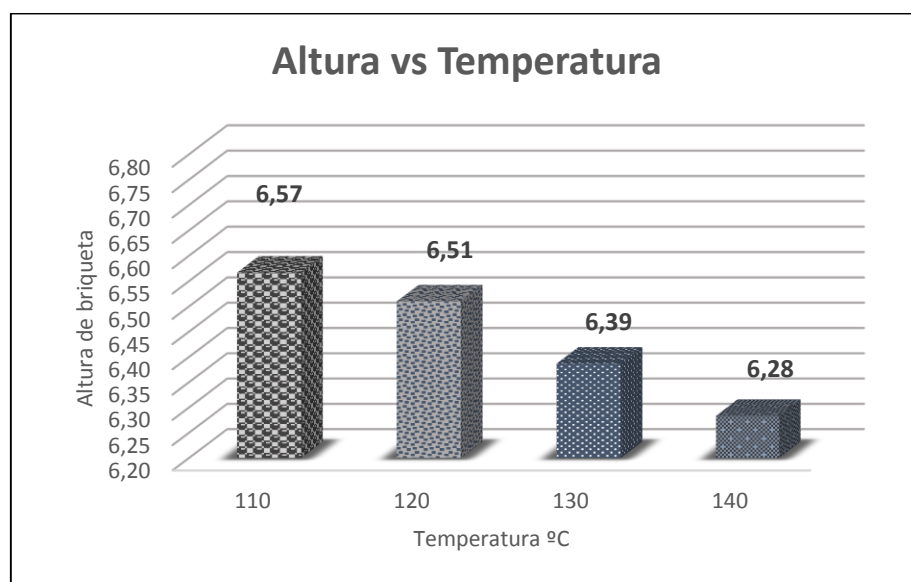
##### Diseño Marshall 1

Altura de briketa (cm)	Temperatura ° C
6.70	110
6.56	120
6.42	130
6.30	140



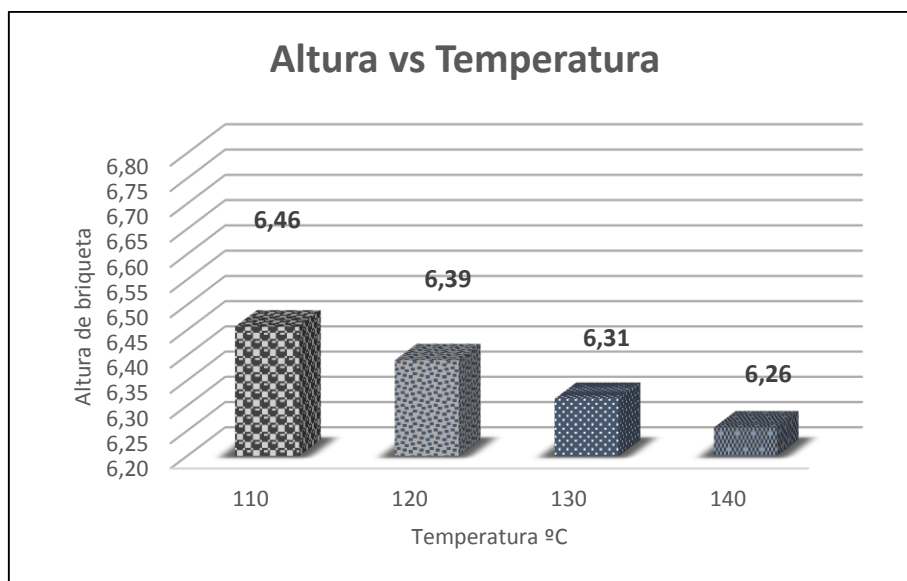
### Diseño Marshall 2

Altura de briqueta (cm)	Temperatura ° C
6,57	110
6,51	120
6,39	130
6,28	140



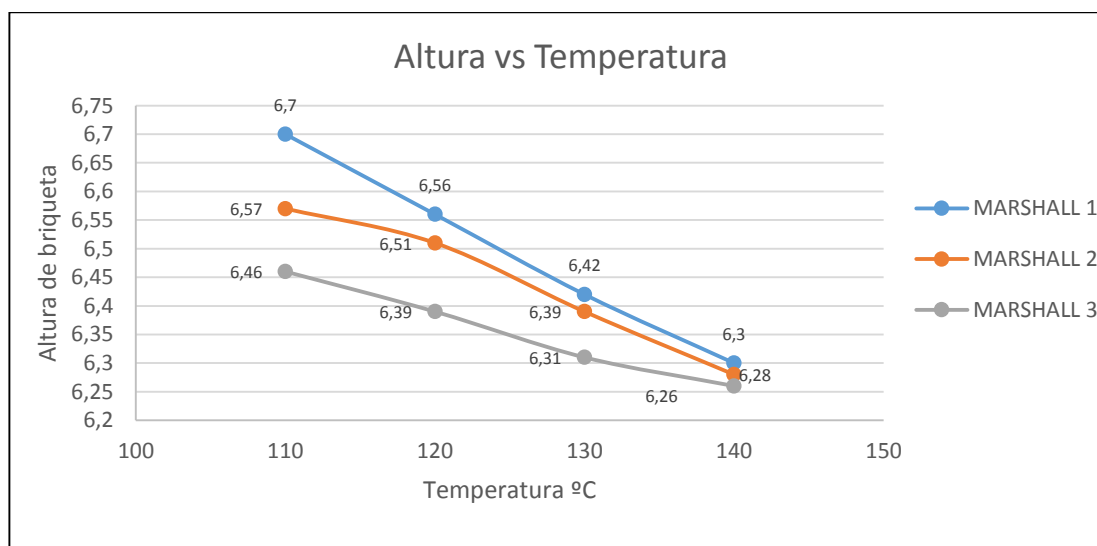
### Diseño Marshall 3

Altura de briqueta (cm)	Temperatura ° C
6,46	110
6,39	120
6,31	130
6,26	140



En las anteriores graficas de cada diseño, indican que a menor temperatura de compactación las briquetas no se pueden compactar bien, al contrario ocurre que a mayor temperatura éstas tienen una mejor compactación de la mezcla asfáltica templada.

### Gráfica de comparación entre los 3 diseños Marshall



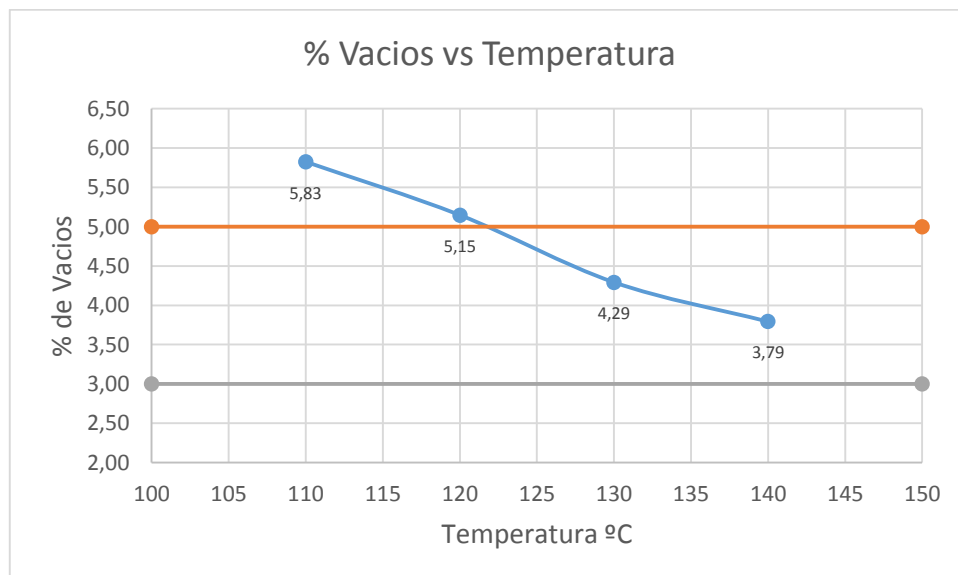
En esta gráfica se hace una comparación entre los 3 diseños, para verificar el comportamiento de las mezclas asfálticas templadas, que contienen diferentes proporciones de agregados y de asfalto, se observa que a menor temperatura, la altura

de la capa asfáltica será mayor y presentara gran proporción de vacíos dentro de la misma, significa que la mezcla no posee buena trabajabilidad y no tiene facilidad de compactación. Siendo así de mayor trabajabilidad una mezcla a mayor temperatura, obteniendo una mezcla homogénea y de menor altura de la capa asfáltica, donde se podrá manipular mejor en el vertido y durante la compactación en el pavimentado de la obra.

- Se relaciona el porcentaje de vacíos vs temperatura obtenidas de las briquetas en estudio, construyendo gráficas para analizar la trabajabilidad en las mezclas asfálticas templadas.

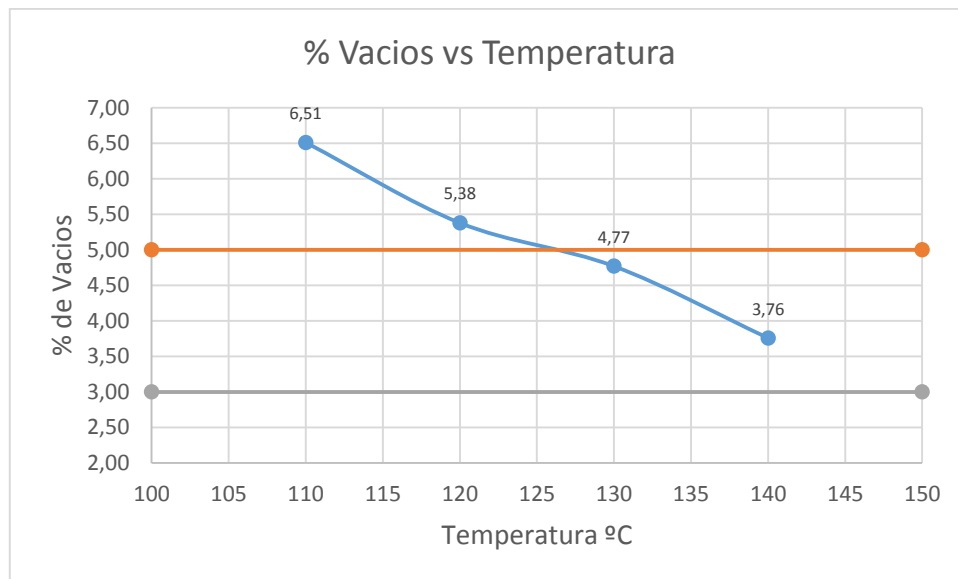
### Ensayo Marshall 1

% de Vacíos	Temperatura ° C
5,83	110
5,15	120
4,29	130
3,79	140



### Ensayo Marshall 2

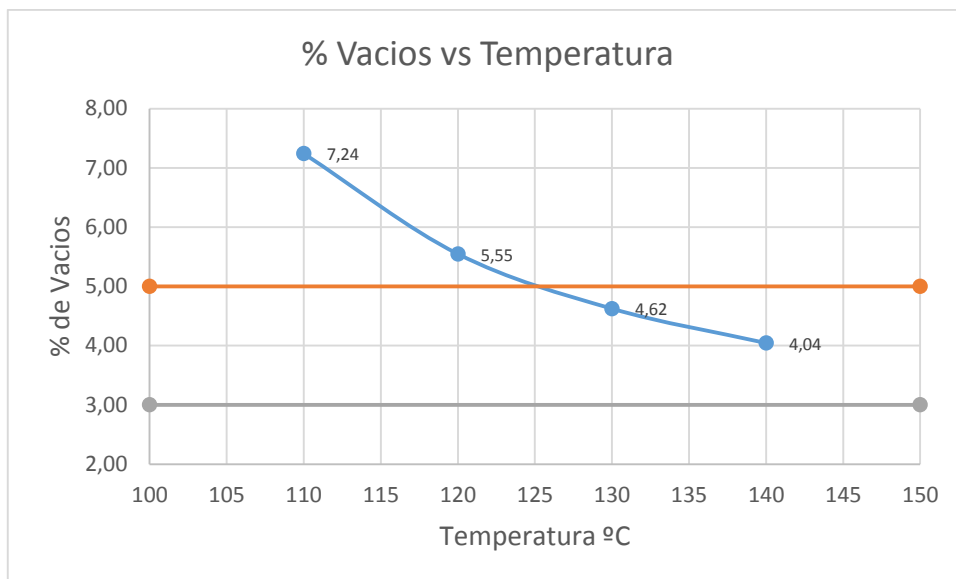
% de Vacíos	Temperatura °C
6,51	110
5,38	120
4,77	130
3,76	140



### Ensayo Marshall 3

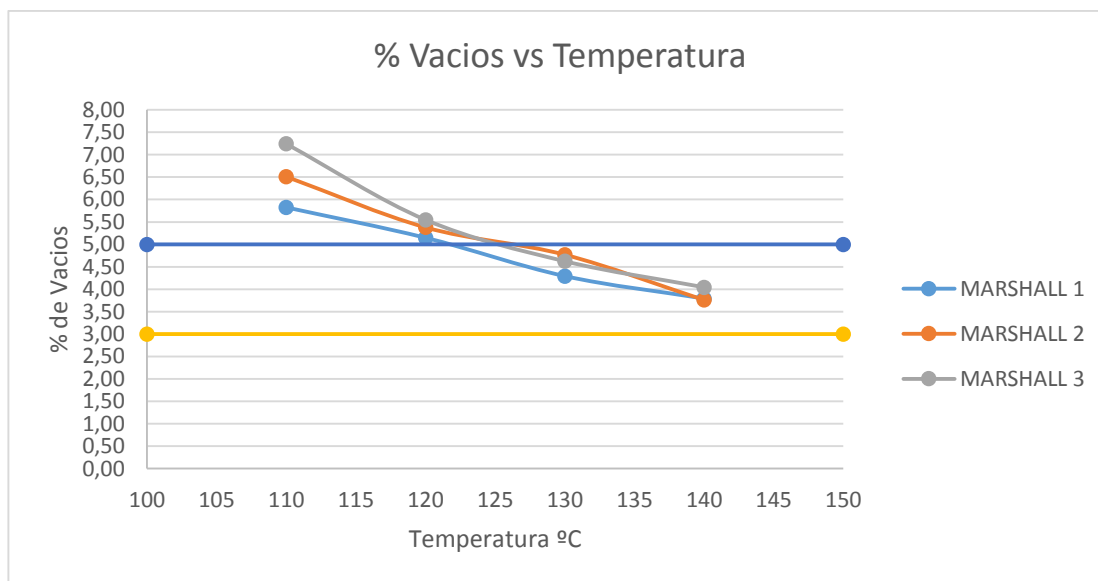
% de Vacíos	Temperatura °C
7,24	110
5,55	120
4,62	130
4,04	140





En las anteriores gráficas de cada diseño, la relación del % de vacíos vs la temperatura, muestra que a menor temperatura será mayor la proporción de vacíos que contendrá una mezcla asfáltica templada.

### Gráfica de comparación entre los 3 diseños Marshall



En esta gráfica se hace una comparación entre los 3 diseños, donde indica que a menor temperatura habrá mayor proporción de vacíos, siendo así una mezcla porosa de mala

calidad, ocurriendo lo contrario que a mayor temperatura se tiene menor proporción de vacíos en la mezcla.

- **Análisis de la trabajabilidad**

El diseño Marshall especifica un rango de 3 a 5% de vacíos que deben cumplir las mezclas asfálticas, esto significa que cuando los porcentajes de vacíos sobrepasan del rango establecido la mezcla asfáltica es de mala calidad, siendo así el 4% un valor óptimo de vacíos para una mezcla, donde también se percibe la temperatura óptima de compactación entre 135 a 140 °C, con la cual se podrá tener mejor trabajabilidad en la mezcla al momento de ser esparcida y compactada en la obra.

Al observar los valores obtenidos a través de los 2 métodos estudiados como ser: En la relación de altura vs temperatura y en la relación % de vacíos vs temperatura. Se puede decir que las mezclas asfálticas templadas son de mejor trabajabilidad que las mezclas asfálticas convencionales, esto al ser fabricadas y compactadas a menores temperaturas cumpliendo con los parámetros mínimos establecidos según la norma de asfaltos y obteniendo una serie de ventajas:

- Una menor contaminación al medio ambiente.
- Ahorro de combustible en el proceso de mezclado.
- Menor peligro en la manipulación de la mezcla para los obreros en el pavimentado.
- Reducción del gasto energético de mezclado y compactación.
- Posibilidad de transportar mezcla por mayores distancias.

Una de las desventajas que se puede evidenciar dentro del estudio de las mezclas asfálticas templadas, cuando la misma se encuentra a una temperatura menor de 120 °C de compactación y mezclado, esta presenta en su contenido mayor % de vacíos haciendo que esta mezcla sea porosa y no cumpla con los valores especificados según el criterio de Diseño Marshall.

## 4.12 Rendimiento

Para demostrar el rendimiento de este tipo de mezclas se realizara un análisis relacionando el % óptimo de asfalto de cada uno de los diseños y sus respectivos pesos unitarios de los agregados, para la fabricación de un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica templada compactada y suelta. A continuación en las siguientes tablas se muestran los resultados de rendimiento para cada uno de los diseños.

### Rendimiento del Diseño 1:

MATERIAL TRITURADO PARA LA MEZCLA ASFALTICA				
TAMAÑO MATERIAL TIPO	GRAVA CHANCADO 3/4"	GRAVA CHANCADO 3/8"	ARENA CHANCADA 3/16"	TOTAL
% MATERIAL PARA MEZCLA ASFALTICA (en peso)	18,0%	34,7%	47,3%	100%

% de asf	5,40
densidad mezcla asf.	2,351
asfalto	0,127 dens
material	2,224 dens

MEZCLA COMPACTADA		
1 m3		
Vol. Total	m3	1,000
Densidad Carpeta Comp.	Kl/m3	2,351
Total	Ton.	2,351
PESO		
Total Grava 3/4"	Ton.	0,423
Total Grava 3/8"	Ton.	0,816
Arena Chancada	Ton.	1,112
VOLUMEN		
Total Grava 3/4"	m3	0,295
Total Grava 3/8"	m3	0,573
Arena Chancada	m3	0,645
Total de mezcla de agregados	m3	1,514
Cemento Asfalto	Ton.	0,134
Cemento Asfalto	Its	134,2
MEZCLA SUELTA		
Total Grava 3/4"	vol.	0,195
Total Grava 3/8"	vol.	0,379
Arena Chancada	vol.	0,426
TOTAL	vol.	1,000
Total Grava 3/4"	Kl/m3	0,280
Total Grava 3/8"	Kl/m3	0,539
Arena Chancada	Kl/m3	0,735
Peso Unitario de la mezcla	Kl/m3	1,553
Cantidad de Asfalto	Its	90,23

Peso Unitario Suelto y Barillado	Promedio		
Total Grava 3/4"	1,383	1,487	<b>1,435</b>
Total Grava 3/8"	1,366	1,479	<b>1,423</b>
Arena Chancada	1,651	1,796	<b>1,724</b>

**Rendimiento del Diseño 2:**

MATERIAL TRITURADO PARA LA MEZCLA ASFALTICA				
TAMAÑO MATERIAL TIPO	GRAVA CHANCADO 3/4"	GRAVA CHANCADO 3/8"	ARENA CHANCADA 3/16"	TOTAL
% MATERIAL PARA MEZCLA ASFALTICA (%)	18,0%	29,3%	52,7%	100%

% de asf	<b>5,65</b>
densidad mezcla asf.	<b>2,341</b>
asfalto	0,132 dens
material	2,209 dens

MEZCLA COMPACTADA		
1 m3		
Vol. Total	m3	1,000
Densidad Carpeta Comp.	Kl/m3	2,341
<b>Total</b>	<b>Ton.</b>	<b>2,341</b>
PESO		
Total Grava 3/4"	Ton.	0,421
Total Grava 3/8"	Ton.	0,686
Arena Chancada	Ton.	1,234
VOLUMEN		
Total Grava 3/4"	m3	0,294
Total Grava 3/8"	m3	0,482
Arena Chancada	m3	0,716
Total de mezcla de agregados	m3	1,492
Cemento Asfalto	Ton.	0,140
Cemento Asfalto	Its	140,2
MEZCLA SUELTA		
Total Grava 3/4"	vol.	0,197
Total Grava 3/8"	vol.	0,323
Arena Chancada	vol.	0,480
<b>TOTAL</b>	<b>vol.</b>	<b>1,000</b>
Total Grava 3/4"	Kl/m3	0,282
Total Grava 3/8"	Kl/m3	0,460
Arena Chancada	Kl/m3	0,827
Peso Unitario de la mezcla	Kl/m3	1,569
Cantidad de Asfalto	Its	93,98

Peso Unitario Suelto y Barillado	Promedio		
Total Grava 3/4"	1,383	1,487	<b>1,435</b>
Total Grava 3/8"	1,366	1,479	<b>1,423</b>
Arena Chancada	1,651	1,796	<b>1,724</b>

**Rendimiento del Diseño 3:**

MATERIAL TRITURADO PARA LA MEZCLA ASFALTICA				
TAMAÑO MATERIAL TIPO	GRAVA CHANCADO 3/4"	GRAVA CHANCADO 3/8"	ARENA CHANCADA 3/16"	TOTAL
% MATERIAL PARA MEZCLA ASFALTICA (%)	18,0%	23,8%	58,2%	100%

% de asf	<b>5,81</b>
densidad mezcla asf.	<b>2,338</b>
asfalto	0,136 dens
material	2,202 dens

MEZCLA COMPACTADA		
1 m <sup>3</sup>		
Vol. Total	m <sup>3</sup>	1,000
Densidad Carpeta Comp.	Kl/m <sup>3</sup>	2,338
Total	Ton.	2,338
PESO		
Total Grava 3/4"	Ton.	0,421
Total Grava 3/8"	Ton.	0,556
Arena Chancada	Ton.	1,361
VOLUMEN		
Total Grava 3/4"	m <sup>3</sup>	0,293
Total Grava 3/8"	m <sup>3</sup>	0,391
Arena Chancada	m <sup>3</sup>	0,790
Total de mezcla de agregados	m <sup>3</sup>	1,474
Cemento Asfalto	Ton.	0,144
Cemento Asfalto	lts	144,2
MEZCLA SUELTA		
Total Grava 3/4"	vol.	0,199
Total Grava 3/8"	vol.	0,265
Arena Chancada	vol.	0,536
TOTAL	vol.	1,000
Total Grava 3/4"	Kl/m <sup>3</sup>	0,286
Total Grava 3/8"	Kl/m <sup>3</sup>	0,378
Arena Chancada	Kl/m <sup>3</sup>	0,923
Peso Unitario de la mezcla	Kl/m <sup>3</sup>	1,586
Cantidad de Asfalto	lts	97,84

Peso Unitario Suelto y Barillado	Promedio		
Total Grava 3/4"	1,383	1,487	<b>1,435</b>
Total Grava 3/8"	1,366	1,479	<b>1,423</b>
Arena Chancada	1,651	1,796	<b>1,724</b>

**Tabla 4.8:** Planilla de resultados de rendimiento de los Diseños 1-2-3

**Fuente:** Propia

- **Análisis de rendimiento**

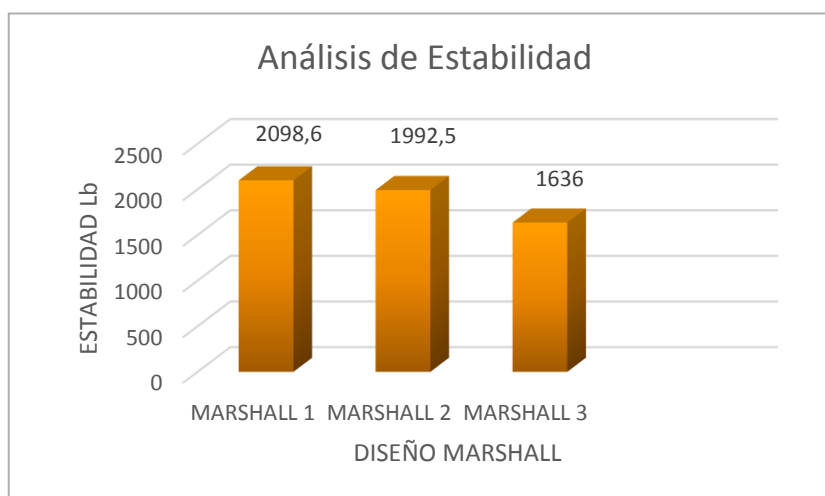
En las planillas anteriores de cálculos y resultados de los rendimientos para cada uno de los diseños se observa que están dentro de los parámetros establecidos según la bibliografía que indica 90ltrs – 115litr para un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica templada suelta es decir entre 5.5 – 7% de contenido de asfalto. Obteniendo como resultados para el Diseño 1= 90.23 ltrs. Diseño 2= 93.98 ltrs. y Diseño 3= 97.84 ltrs. También se muestra las proporciones de agregado para un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica templada cuyos porcentajes rinden para esta cierta cantidad de mezcla.

Con lo explicado en el párrafo anterior se demuestra que las mezclas asfálticas templadas llegan a tener un rendimiento apropiado, estos valores comparando con los criterios de diseño según la bibliografía.

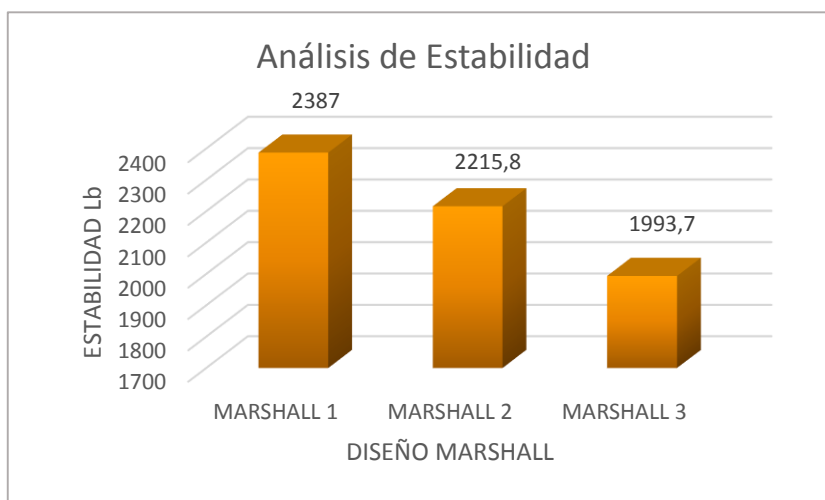
#### 4.13 Análisis de los Resultados Obtenidos de MAT

##### 4.13.1 Análisis de la Estabilidad.-

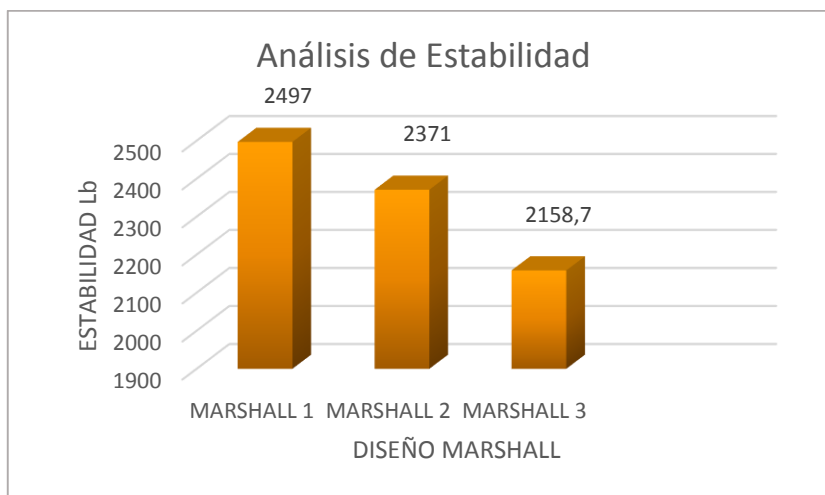
<b>Ensayo Realizado a 110 °C de Compactación</b>			
	Diseño Marshall 1	Diseño Marshall 2	Diseño Marshall 3
Estabilidad(Lb)	2098,6	1992,5	1636,0



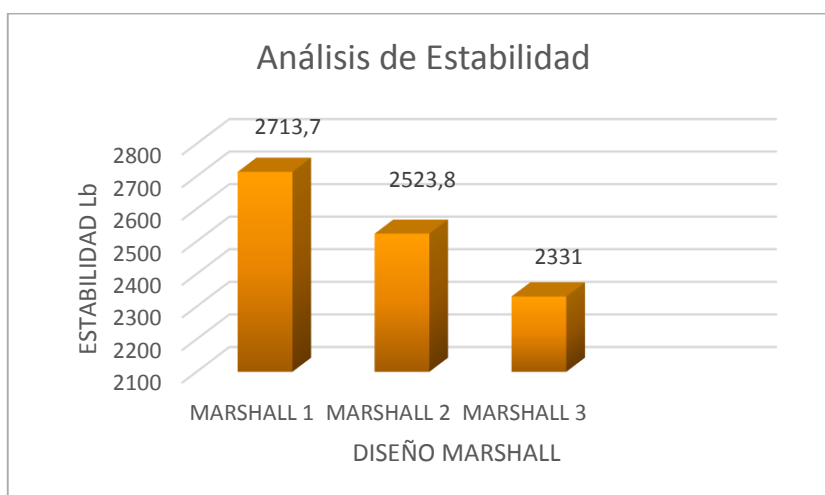
<b>Ensayo Realizado a 120 °C de Compactación</b>			
	Diseño Marshall 1	Diseño Marshall 2	Diseño Marshall 3
Estabilidad(Lb)	2387.0	2215.8	1993.7



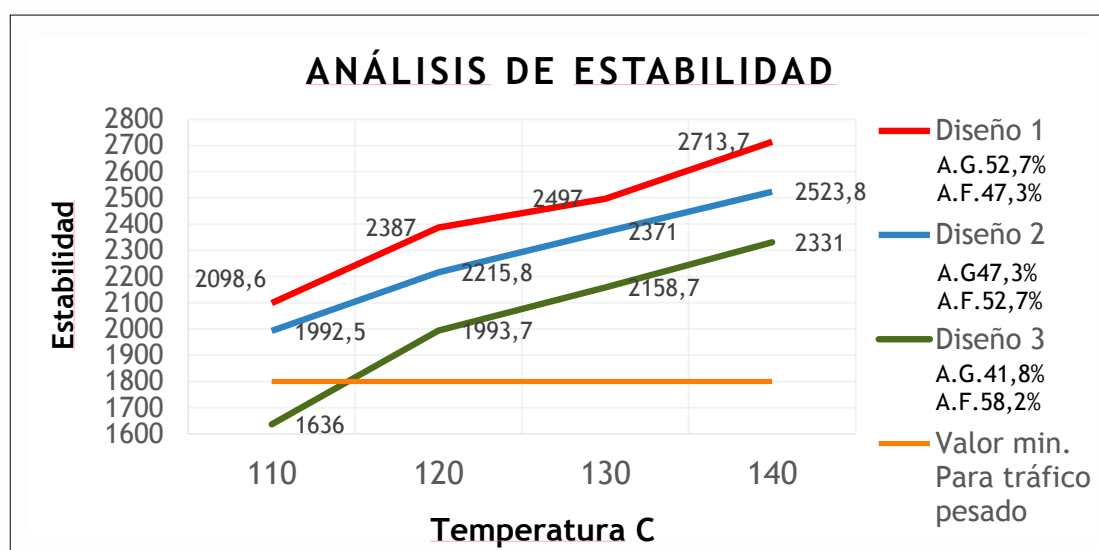
<b>Ensayo Realizado a 130 °C de Compactación</b>			
	Diseño Marshall 1	Diseño Marshall 2	Diseño Marshall 3
Estabilidad(Lb)	2497.0	2371.0	2158.7



<b>Ensayo Realizado a 140 °C de Compactación</b>			
	Diseño Marshall 1	Diseño Marshall 2	Diseño Marshall 3
Estabilidad(Lb)	2713.7	2523.8	2331.0



### Gráfica de comparación entre los 3 diseños Marshall



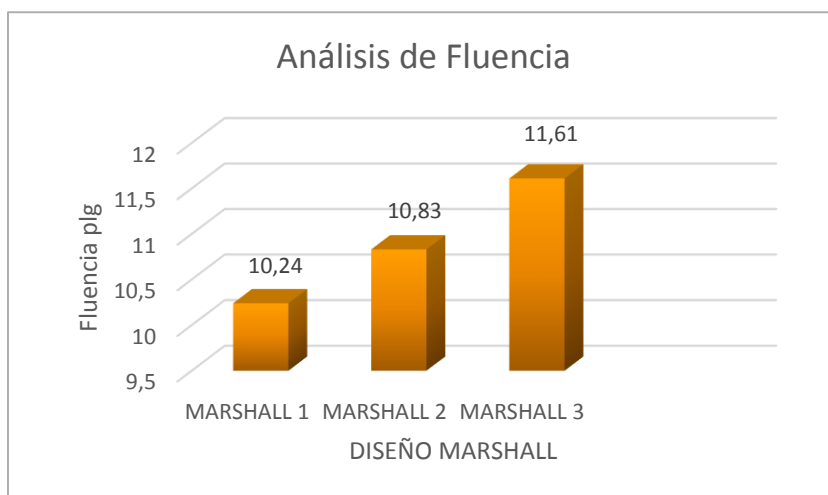
Después de analizar los datos obtenidos del diseño Marshall respectivos a la estabilidad de una mezcla asfáltica templada, se observa que cuando se aplica un porcentaje mayor de agregado grueso que el agregado fino se obtiene mayor estabilidad en las mezclas esto aplicado a 110, 120, 130 y 140 °C. Y si usamos una granulometría que contenga mayor contenido de agregado fino se obtiene menor estabilidad en la mezcla.

En este caso analizamos las mezclas asfálticas según la Tabla 2.6 de criterios mostrada en el Capítulo 2, que especifica una estabilidad mínima de 1800 b para tráfico pesado, es decir en este caso para los 3 diseños a diferentes temperaturas de compactación de la mezcla asfáltica templada cumple con la resistencia mínima especificada según norma, exceptuando el diseño 3 que a una temperatura de 110 °C nos da una resistencia de 1636.0 que está por debajo de la mínima, entonces se puede decir que a menor temperatura y mayor proporción de agregado fino no se alcanza una estabilidad o resistencia adecuada.

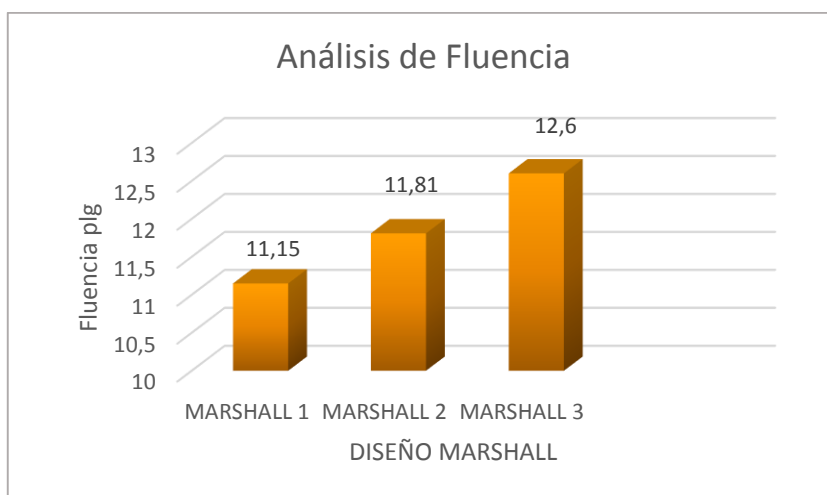


#### 4.13.2 Análisis de la Fluencia.-

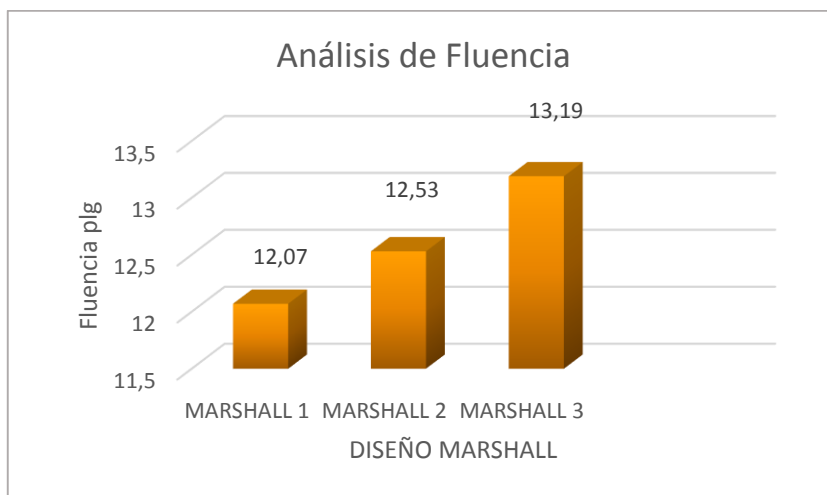
<b>Ensayo Realizado a 110 °C de Compactación</b>			
	Diseño Marshall 1	Diseño Marshall 2	Diseño Marshall 3
Fluencia(pulg)	10,24	10,83	11,61



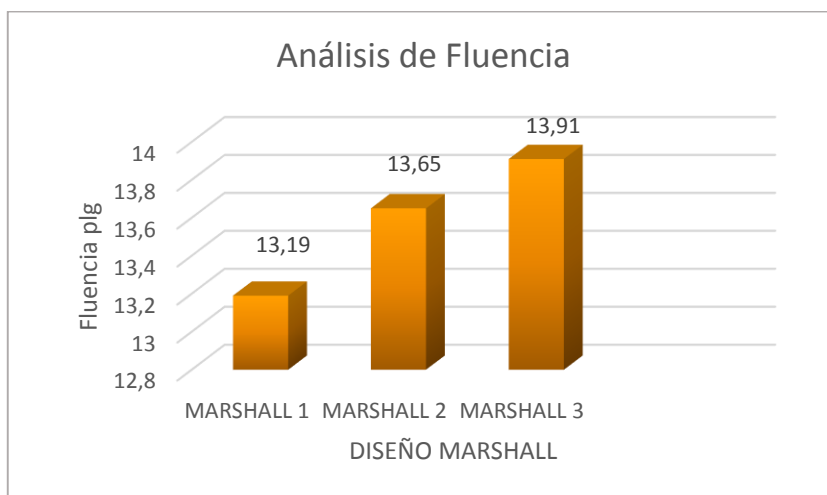
<b>Ensayo Realizado a 120 °C de Compactación</b>			
	Diseño Marshall 1	Diseño Marshall 2	Diseño Marshall 3
Fluencia(pulg)	11,15	11,81	12,60



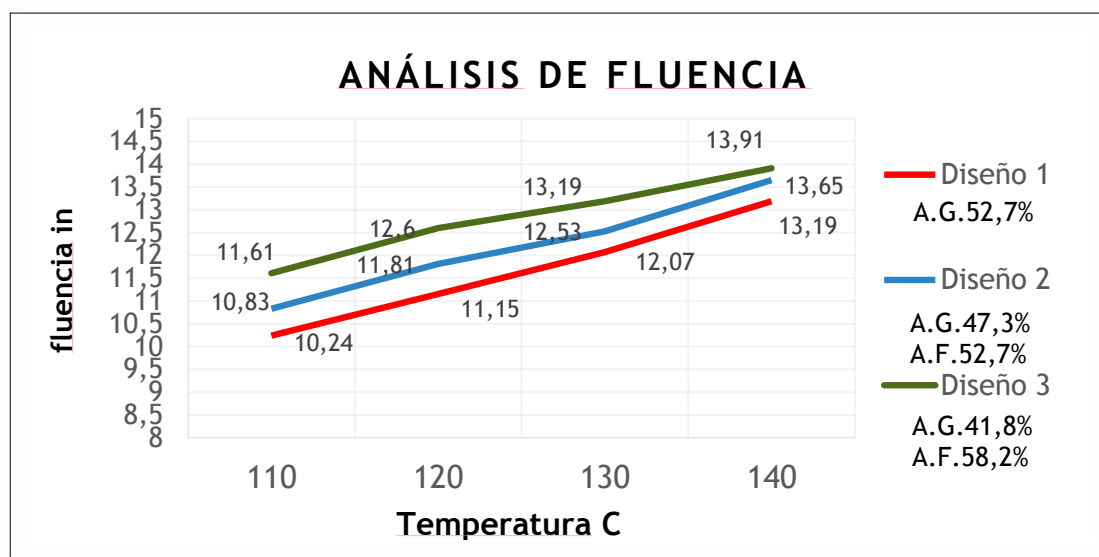
<b>Ensayo Realizado a 130 °C de Compactación</b>			
	Diseño Marshall 1	Diseño Marshall 2	Diseño Marshall 3
Fluencia(pulg)	12,07	12,53	13,19



<b>Ensayo Realizado a 140 °C de Compactación</b>			
	Diseño Marshall 1	Diseño Marshall 2	Diseño Marshall 3
Fluencia(pulg)	13,19	13,65	13,91



### Gráfica de comparación entre los 3 diseños Marshall



En las gráficas de fluencia mostradas anteriormente se denota que para el diseño Marshall 1, el cual tiene mayor contenido de agregado grueso el valor de la deformación de la briqueta está referido a la disminución del diámetro de la briqueta y en sentido vertical es menor. Caso contrario ocurre en el diseño Marshall 3 el cual tiene mayor contenido de agregado fino siendo así la fluencia mayor. Por lo cual según este análisis a mayor contenido de agregado grueso menor fluencia y a menor contenido de agregado grueso mayor fluencia.

#### 4.13.3 Nivel de Confianza de los Resultados

Se determinó el nivel de confianza para el diseño Marshall 1 esto por ser el que proporciona mejores resultados de estabilidad esto verificado con los criterios de diseño utilizados cuyos resultados son mayores que los obtenidos por el diseño Marshall 2 y 3.

El nivel de confianza obtenido de los resultados es de 89% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. De igual manera se obtuvo el límite superior e inferior  $\mp 389,15$ , que corresponde al 16%.

Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado.

Analizando estos resultados y con lo que especifica la estadística los resultados obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado el cual está dentro de lo que especifica la norma AASHTO para Carreteras de primer orden de 80-99% de NC, por lo cual son resultados válidos.

De esta manera se justifica a través del nivel de confianza obtenido y de los parámetros utilizados que los resultados obtenidos están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

Con este estudio realizado sobre la trabajabilidad y rendimiento de las mezclas asfálticas templadas, además analizando sus propiedades como la estabilidad y fluencia del diseño Marshall puedo decir que este trabajo será de mucha utilidad para las empresas constructoras e Ing. civiles y público en general dedicados a la construcción de carreteras. Por qué mediante el contenido plasmado en este texto se observa que las mezclas asfálticas templadas entre 135- 140 °C posee el % óptimo de vacíos en la mezcla, demostrando ser más trabajables que una mezcla asfáltica convencional, esto por ser fabricadas y compactadas a menores temperaturas, siendo de menor peligro en la manipulación para los obreros en el vertido del firme, con lo cual se demuestra que es una mezcla trabajable y que genera menor contaminación al medio ambiente.

Con respecto al rendimiento esto según cálculos realizados partiendo de un % óptimo de asfalto de los diseños esta mezcla rinde de igual manera que una mezcla asfáltica convencional esto realizado el rendimiento para un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica suelta.

En el análisis de sus propiedades como en la estabilidad y fluencia esta mezcla cumple con los valores especificados según los criterios de diseño Marshall. Por lo cual esta mezcla es adecuada para la fabricación de firmes en nuestro medio por poseer buenas propiedades y tener excelentes ventajas.

#### 4.14. Planilla de Relación de Variables con los Productos y Resultados Obtenidos

VARIABLES	PRODUCTOS	RESULTADOS				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable independiente</li> </ul> <p>Temperatura de mezclado</p> <p>Temperatura máxima del agregado</p> <p>Variación de temperatura de MAT.</p>	<p>Se hizo variar la temperatura de compactación y mezclado en un rango de 10 °C esto tomando como criterio base la bibliografía que establece que una mezcla asfáltica templada es aquella comprendida entre 105 a 140 °C.</p>	Temp. °C	110	120	130	140
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable dependiente</li> </ul> <p>Trabajabilidad</p> <p>Rendimiento</p> <p>Dosificación</p>	<p>Se realizó 3 diseños Marshall para determinar el % óptimo de asfalto. Con el cual se realizó la dosificación correspondiente para cada diseño en estudio de mezclas asfálticas templadas. Con las briquetas fabricadas se realizó la relación altura de briqueta vs temperatura, también una relación de % de vacíos vs temperatura esto para medir la trabajabilidad de las MAT.</p> <p>Se realizó un análisis relacionando el % óptimo de asfalto obtenido de cada uno de los diseños y sus respectivos pesos unitarios de los agregados para la fabricación de un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica compactada y suelta de esta manera determinando el rendimiento para un m<sup>3</sup> de MAT.</p>	altura vs temperatura				
		Diseño 1	6.70	6.56	6.42	6.30
		Diseño 2	6.57	6.51	6.39	6.28
		Diseño 3	6.46	6.39	6.31	6.26
		% de vacíos vs temperatura				
		Diseño 1	5.83	5.15	4.29	3.79
		Diseño 2	6.51	6.38	4.77	3.76
		Diseño 3	7.24	5.55	4.62	4.04
		Partiendo del % óptimo para el rendimiento				
		Diseño 1	90.23 lt De asfalto para un m <sup>3</sup> de MAT			
Diseño 2	93.98lt De asfalto para un m <sup>3</sup> de MAT					
Diseño 3	97.84lt De asfalto para un m <sup>3</sup> de MAT					

**Tabla 4.9:** Planilla de relación de variables con los productos y resultados obtenidos

Fuente: Propia

#### 4.15. Planilla de Resultados Obtenidos de las Propiedades Mecánicas de la Mezcla Asfáltica Templada

DISEÑOS MARSHALL MAT	TEMPERATURA (°C)	% DE VACÍOS MEZCLA TOTAL (%)	ESTABILIDAD (Lb)	FLUENCIA (Pulg)
DISEÑOS 1	110 °C	5,83	2098,6	10,24
	120 °C	5,15	2387,0	11,15
	130 °C	4,29	2497,0	12,07
	140 °C	3,79	2713,7	13,19
DISEÑOS 2	110 °C	6,51	1992,5	10,83
	120 °C	5,38	2215,8	11,81
	130 °C	4,77	2371,0	12,53
	140 °C	3,76	2523,8	13,65
DISEÑOS 3	110 °C	7,24	1636,0	11,61
	120 °C	5,55	1993,7	12,60
	130 °C	4,62	2158,7	13,19
	140 °C	4,04	2331,0	13,91

**Tabla 4.10:** Planilla de resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica templada

**Fuente:** Propia

#### 4.16. Validación de la Hipótesis

Con las tablas 49 y 50 especificadas anteriormente realizando el análisis de la relación de variables, producto y resultados se podrá dar la validación correspondiente a la hipótesis planteada en este estudio.

**“Si se disminuye la temperatura de mezclado de las mezclas asfálticas, se podrá obtener un material de mayor trabajabilidad y rendimiento en la construcción de firmes.”**

Según el análisis realizado se puede verificar que la hipótesis se cumple para este estudio esto porque los resultados obtenidos según criterios de diseño Marshall la cual

especifica un rango de 3 a 5 % de vacíos que deben cumplir las mezclas asfálticas, esto significa que cuando los porcentajes de vacíos sobrepasan del rango establecido la mezcla asfáltica es de mala calidad, siendo así el 4% el valor óptimo de vacíos para la mezcla, donde también se percibe la temperatura óptima de compactación 135 a 140, con lo cual se podrá tener mejor trabajabilidad en la mezcla al momento de ser esparcida y compactada en la obra. Así también se observa que las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica como la estabilidad obtenida de los diversos diseños en estudio son mayores a 1800lb valor mínimo esto para tráfico pesado y para la fluencia los resultados obtenidos de igual manera estando entre el rango de 8 a 14 pulg. Con respecto al rendimiento de las mezclas asfálticas templadas los resultados obtenidos de los cálculos realizados partiendo del % óptimo de asfalto de cada diseño se observa que estos están dentro de los parámetros establecidos según bibliografía que indica de 90 a 115 lt para un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica suelta.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos y análisis realizados se concluye:

- Con los ensayos y análisis realizados se demostró que estas mezclas asfálticas templadas que estén en el intervalo de 135 a 140 °C de temperatura, dentro el cual se encuentra el % óptimo de vacíos, resulta una mezcla que posee buena trabajabilidad para su uso en la construcción de carreteras siendo de mejor manipulación para los obreros, en relación a los valores y condiciones de las mezclas asfálticas convencionales, según los criterios establecidos en la bibliografía.
- Según lo calculado y analizado partiendo desde el % óptimo de asfalto se pudo constatar que estas mezclas asfálticas templadas son de igual rendimiento que las mezclas en caliente, esto calculado para un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica suelta, obteniendo resultados para el diseño 1= 90,23 lit, diseño 2= 93,98 lit diseño3= 97,84 lit. de asfalto. Valores dentro del rango establecido por la bibliografía entre 90 a 115 ltrs. para un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica.
- La estabilidad obtenida a través del diseño Marshall de las mezclas asfálticas templadas son mayores a 1800lb para temperaturas mayores a 110°C. Obteniendo como resultado de estabilidad máxima de 2713,7 lb con el diseño Marshall 1 a una temperatura de 140 °C.
- Cuando una mezcla asfáltica templada contenga mayor proporción de agregado fino y este a una temperatura de 110°C su estabilidad es menor a 1800lb, siendo una mezcla asfáltica para tráfico medio. Obteniendo como estabilidad mínima 1636,0 lb con el diseño Marshall 3 a una temperatura de 110 °C.
- De acuerdo a los resultados de las especificaciones de la fluencia a través del diseño Marshall estas mezclas asfálticas cumplen con los valores mínimos de acuerdo a los criterios, estando los resultados de fluencia dentro del rango de



8 a 14 pulg. para tráfico pesado. Obteniendo como resultado de fluencia máxima 13,91 pulg con el diseño Marshall 3 a una temperatura de 140 °C y como fluencia mínima 10,24 pulg con el diseño Marshall 1 a una temperatura de 110 °C.

- Se determinó el nivel de confianza mediante el ajuste de datos por el método CHI– cuadrado con distribución normal, esto aplicado para el diseño Marshall 1 por ser el que proporciona resultados más adecuados esto según los criterios de diseño usados, obteniendo un nivel de confianza de 89%, porcentaje que se encuentra entre 80 a 99% del nivel de confianza que especifica la norma AASHTO para carreteras, por lo cual son resultados válidos.
- Se comprobó que los agregados empleados para la dosificación de la mezcla asfáltica en estudio con material proporcionado de la planta de agregados “Garzón” cumple con las especificaciones o características necesarias para este fin por consecuencia de esto se llevó adelante la investigación sin complicaciones por deficiencias del agregado.
- El cemento asfáltico Betunel 85-100 utilizado para los diversos ensayos de caracterización del mismo, cumple con los valores establecidos en el manual de ensayos de la ABC, siendo así un cemento asfáltico de buena calidad para el uso en la fabricación de mezcla asfáltica.
- La mezcla asfáltica templada que es producida a un intervalo de 105 a 140°C de temperatura tiende a facilitar su transporte a grandes distancias de donde es fabricada, manteniendo sus mismas propiedades.
- Facilidad para compactar las mezclas asfálticas empleando menor temperatura y obteniendo valores de densidad muy cercanos a la densidad de diseño la cual ocasiona que tengamos mezclas asfálticas de alto desempeño.
- Respecto a la bibliografía obtenida y con base en los resultados de ensayos de laboratorio, se afirma que las mezclas asfálticas templadas ofrecen una gran solución para minimizar el impacto medioambiental que generan la emisión de gases debido a la combustión y calentamiento de materiales.

- Hoy en día con el uso de las nuevas tecnologías y la necesidad de disminuir la contaminación al medio ambiente en la construcción de carreteras obliga a estudiar o brindar una nueva alternativa de mezcla asfáltica como es el caso de profundizar este nuevo tipo de mezcla asfáltica templada la cual trae consigo una serie de ventajas saludables para el medio ambiente y sociedad.
- Según lo estudiado en la bibliografía en nuestro país Bolivia aún no se utilizó y se tiene poco conocimiento de esta nueva alternativa de mezcla asfáltica templada a diferencia de los países más desarrollados que están en pleno uso y ejecución como es el caso de los países: Brasil, Colombia, Chile, México y Venezuela.

Realizando un análisis minucioso de las conclusiones mencionadas anteriormente se verifica el cumplimiento de los objetivos planteados en este estudio de las mezclas asfálticas templadas.

Afirmando de esta manera que las mezclas asfálticas templadas son de buena trabajabilidad y rendimiento, así mismo sus propiedades mecánicas son aptas para la fabricación de firmes, todo esto basado según diversos criterios de diseño.

## 5.2. Recomendaciones

Debido a la urgencia de proveer soluciones al calentamiento global y la necesidad de optimizar los procesos constructivos, se conoce que es de suma importancia continuar con las investigaciones de mezclas asfálticas templadas, hasta el punto en el que se obtenga una mezcla resistente a los efectos ambientales que pueda usarse en la pavimentación de obras civiles en Bolivia. Después de ver y analizar los resultados obtenidos en los ensayos realizados de esta investigación, se hacen las siguientes recomendaciones para más futuras investigaciones:

- Para realizar este estudio de la trabajabilidad y rendimiento de las mezclas asfálticas templadas se debe cumplir con sus criterios establecidos en la bibliografía, su temperatura debe mantenerse entre 105 a 140 °C, el % de vacíos debe estar entre 3 a 5 %, la fluencia entre 8 a 14 plg. y la estabilidad debe ser mayor a 1800 lb condiciones para un tráfico pesado.
- Darle continuidad a esta investigación a través de una prueba, con la realización de una pequeña pavimentación de mezcla asfáltica templada, con el fin de comprobar de forma práctica, la resistencia al tráfico, a los efectos climatológicos y que permita medir el desempeño de las mismas.
- Se hace indispensable contar con equipos de alta tecnología para calentamiento, mezclado y compactación de mezclas asfálticas templadas en nuestros laboratorios, con el fin de elaborar una mezcla homogénea, así evitar errores en la fabricación de las briquetas, porque para este estudio se realizó el mezclado de la mezcla asfáltica de manera manual.
- En los ensayos de caracterización de los agregados, del cemento asfáltico y en el proceso de mezclado para la fabricación de las briquetas se debe considerar de suma importancia el contar con la indumentaria de seguridad especificada para este tipo de laboratorios, para evitar cualquier accidente como ser los entre los más relevantes quemaduras, esto porque se realizan los ensayos a altas temperaturas que sobrepasan los 110 °C.
- Para la fabricación de una mezcla asfáltica templada se debe hacer una selección adecuada de los agregados, los cuales cumplan con las especificaciones de caracterización de los mismos, por ejemplo: que el agregado no sea muy blando y que contenga la cantidad necesaria de agregado grueso de 3/4", 3/8" y agregado fino para realizar una buena dosificación de las misma.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS.** *Manual de carreteras vol.4 a manual de ensayos de suelos y materiales, asfaltos. Bolivia. (2015).*
2. **ASPHALT INSTITUTE** *Manual del asfalto.* Traducido por Manuel Velázquez. Proas. Ediciones URMO. España (1973).
3. **BALESTRINI, M.** *Procedimientos Técnicos de la Investigación CIBER. Manual Planta de Asfalto (1987).*
4. **BROC, V. ARIDOS** *Revista técnica de la asociación española de la carretera 3ª época. No. 14. Madrid, España (1984).*
5. **CELIS AMADO LYDA MARCELA** *Mezclas asfálticas templadas.* Santander, Colombia. (2008).
6. **COLUCCI BENJAMÍN** *Guías prácticas para la colocación y compactación pavimentos asfálticos. Mayagüez, puerto rico.* Recuperado de bcolucci@uprm.edu. (Abril de 2008)
7. **CONRADO HERNANDO LOPERA PALACIO** *Diseño y producción de mezclas asfálticas templadas a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma.* Medellín, Colombia. Informe final de investigación. (2011).
8. **FERNÁNDEZ DEL CAMPO J.A** *“manual de control de fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente”.* M.F. España (2001).
9. **INSTITUTO DE ASFALTO** *Estados unidos de Norteamérica, “tecnología del asfalto y prácticas de construcción, guía para instructores” asfalto de la república argentina, buenos aires, (1985).*

- 10. JURADO T. RAFAEL D.** *Diseño de un plan de calidad aplicado a la mezcla asfáltica en caliente producida en el instituto de vialidad y transporte de portuguesa.* (invitrap). Portugal. (06/2011.).
- 11. LÓPEZ, C.** *Innovación tecnológica para la infraestructura vial.* Valparaíso, Chile. (2016).
- 12. MÉNDEZ OLVERA SUSANA** *Control de calidad de mezclas asfálticas calientes y templadas.* Zacatenco, México. (Julio de 2013).
- 13. MIRANDA PÉREZ LUCÍA.** *Fabricación y puesta en obra de mezclas templada con betún, experiencia del grupo eiffage.* Brasil (julio de 2009).
- 14. PADILLA RODRÍGUEZ ALEJANDRO.** *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.* México. (2004).
- 15. NORMA INVEAS.** *Instituto Venezolano de Asfalto.* Versión revisada diciembre (2004).
- 16. PÁEZ DUEÑAS, A.** *Ligantes para mezclas de baja temperatura de extendido.* La Plata. Argentina (2006).
- 17. POROT, L.** *Mezclas asfálticas a más bajas temperaturas. Xxxv reunión del asfalto.* Rosario, Argentina (2008). Comisión permanente del asfalto.
- 18. RUIZ, C.** *“Interpretación del ensayo Marshall relación estabilidad-fluencia”.* Comisión permanente del asfalto. Decimocuarta reunión del asfalto. Buenos Aires, Argentina (1966).