

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1. Introducción**

El pavimento de una carretera debe cumplir con ciertos requisitos para garantizar al usuario seguridad como principal y más relevante condición de servicio, es por esto que la selección de los agregados y el cemento asfáltico juegan un papel importante a la hora de realizarse el diseño de la mezcla.

En primer lugar, tenemos al cemento asfáltico como uno de los componentes de las mezclas asfálticas sin ser menos importante que los agregados y con una misión específica y es la de adherirse al agregado, éste presenta un comportamiento variable dependiendo del aumento o reducción de la temperatura, por esto se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima en donde se va implementar.

En Bogotá como capital y mayor centro poblado del país, está llamada a ser el eje del desarrollo, esta ciudad, con cerca de 8 millones de habitantes y tendencia a su aumento, tiene una malla vial de 15,656 km–carril, el 40% en mal estado.

Con base en lo mencionado anteriormente, y sin desconocer la problemática que se hace visible en el país sobre el deterioro y la falta de inversión en la malla vial en el territorio nacional, se busca analizar por medio del ensayo tracción indirecta valor de adherencia en la mezcla asfáltica según los criterios de evaluación de la metodología del diseño Marshall junto con la norma de AASHTO.

El autor de este trabajo pretende analizar el control de la adherencia entre el cemento asfáltico y agregado triturado de tres bancos diferentes, mediante el ensayo de tracción indirecta, también se verificará las propiedades de estabilidad y flujo mediante ensayo Marshall, de tal manera pueda garantizar una mezcla de buena calidad.

Al analizar la adherencia de la mezcla asfáltica, los resultados bridarán garantía durabilidad y seguridad de la misma en el tiempo de servicio de la carpeta de rodadura en la estructura del pavimento evitando daños estructurales y superficiales al mismo.

## 1.2. Justificación

Tarija como departamento poblado y atractivo turístico del país, está llamada a ser el eje del desarrollo, no obstante se hace evidente que el mal estado de las vías en la ciudad genera serios inconvenientes en la seguridad, movilidad y el desarrollo. Con base en lo mencionado anteriormente, y sin desconocer la problemática que se hace visible en el país sobre el deterioro y la falta de inversión en la malla vial en el territorio departamental, se busca analizar por medio del ensayo tracción indirecta el porcentaje y valor de adherencia en la mezcla asfáltica según los criterios de evaluación de la metodología del diseño Marshall junto con la norma AASHTO. Posiblemente el daño de las vías en Tarija esté dado principalmente por la escasa intervención y/o mantenimiento, pero hipotéticamente este daño también se está presentando por la falta de control del material de agregado.

Lo anterior permite utilizar los resultados de laboratorio obtenidos como soporte y/o apoyo para el desarrollo de los objetivos planteados en el presente documento, logrando así darle continuidad al estudio de la adherencia en mezclas asfálticas específicamente entre sus dos componentes de mayor relevancia, los agregados pétreos y el concreto asfáltico.

Pues bien, dándole trascendencia al eje central de esta justificación es importante mencionar, que en Bolivia la normatividad del país exige que los diseños de mezclas asfálticas sean realizados por la metodología Marshall; dicho método de diseño maneja los siguientes criterios de verificación y aceptación; análisis de la adherencia. El respectivo análisis de cada uno de los componentes de dicha norma mencionados anteriormente requiere de una amplia inversión y equipos especiales para lograr darle cumplimiento; motivo por el cual el presente trabajo de investigación dentro de sus alcances busca darle énfasis al análisis de la adherencia en las mezclas asfálticas por medio del ensayo tracción indirecta (norma AASHTO), basados en el parámetro exigido y “especificaciones generales de construcción de carreteras” “verificación del diseño Marshall”, donde el porcentaje de adherencia mínimo exigido por la norma AASHTO para mezcla asfáltica debe ser del 80%, por medio de éste se busca analizar el comportamiento de la adherencia entre los agregados finos y el bitumen mediante la clasificación dada por esta norma promoviendo así el desarrollo de este criterio,

componente no menos importante que los mencionados anteriormente, pero que es la clave en la búsqueda de los objetivos del presente trabajo de grado con el fin de obtener el comportamiento de los agregados pétreos utilizados como materiales de estudio.

Para finalizar, es importante destacar que “Dentro de una estructura de pavimento con capa asfáltica, los agregados pétreos más exigentes, en cuanto a durabilidad, textura y resistencia mecánica se refiere, son aquéllos que conforman las mezclas asfálticas. Dentro de éstas, son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. De la calidad de éstos materiales depende en gran medida la evolución de los mecanismos de daño que ocurren en mezclas asfálticas como son el ahuellamiento, la fatiga y el daño por humedad”.

### **1.3. Diseño teórico**

#### **1.3.1. Situación problemática**

##### **Conceptualización puntual del objeto de estudio**

La adherencia en la mezcla asfáltica es uno de los pilares dentro del proceso de construcción vial, es la variable del pavimento en la que se debe cumplir y garantizar las principales propiedades de las mezclas asfálticas. Cuando se diseña una mezcla asfáltica, se espera que esta trabaje de manera monótonica en función de las exigencias en diseño y obedezca las propiedades del cemento asfáltico.

##### **Descripción del fenómeno ocurrido**

Por otra parte, el pavimento presenta diversas fallas, estas clasificadas por normativa, de acuerdo a la evaluación superficial, evaluación estructural y la evaluación funcional, todas estas son predecesoras una de la otra, la adherencia como se mencionó en líneas anteriores es de vital importancia para el cumplimiento de las exigencias por el parque automotor, de no ser tratada de manera adecuada hasta ser mitigada, esta puede ocasionar serios problemas en cuanto a funcionalidad, se puede alterar el índice de rugosidad internacional (IRI) y el ahuellamiento, del mismo modo se puede generar daños en la estructura del pavimento y porque no el índice de condición del pavimento (PCI) o la evaluación superficial se vería afectada de manera importante. Esto genera que los tiempos de retorno

de las vías se aceleren. Existen diferentes tipos de aditivos mejoradores de adherencia, pero hacen que los costos de mantenimiento se multipliquen de manera exponencial.

### **Breve explicación de la perspectiva de solución**

Nuestro proyecto busca analizar el comportamiento que tiene el material triturado de tres bancos diferentes y someterles al análisis de comportamiento bajo los parámetros de estudio en el ensayo de tracción indirecta.

#### **1.4. Problema**

¿De qué manera un análisis de control de mezcla asfáltica caliente podrá verificar la adherencia entre agregado triturado y cemento asfáltico?

#### **1.5. Alcance de la investigación**

El presente trabajo pretende proporcionar una de las nuevas tecnologías el Ensayo de Tracción Indirecta para el control de adherencia entre el agregado triturado y el cemento asfáltico. La cual posea las condiciones y características necesarias que especifica la norma AASHTO para pavimentos flexibles de tránsito vehicular.

El método planteado en este trabajo permitirá disminuir las fallas superficiales y así generar una construcción de pavimentos flexibles de mejor desempeño y mayor calidad, que tenga buena adherencia.

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 este método de tracción indirecta para poder controlar la adherencia ya que en nuestro país Bolivia no es muy utilizado este tipo de método según especifican los antecedentes de construcción de asfaltados de nuestro país.

Para el desarrollo y ejecución se utilizará las instalaciones de los laboratorios de hormigón y asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se proporcionan los equipos necesarios para realizar de los ensayos. Los materiales para la mezcla provienen de la planta de agregados chancadora Garzón ubicada en la comunidad de San Mateo de la ciudad de Tarija, de la chancadora Erika ubicada en la carretera a San Lorenzo km 8 de la ciudad de Tarija y de la chancadora SEDECA ubicada en la comunidad de Charaja km

38 de la ciudad de Tarija, esto por ser los bancos que cuentan con el material necesario y son utilizados para pavimentos.

Este proyecto se realizará entre los meses (Agosto-Septiembre-Octubre) del 2018 es decir en 12 semanas continuas aproximadamente, tiempo en el cual se va a obtener como resultado final el diseño de mezclas asfálticas calientes haciendo variar el tipo de material granular, la granulometría y compactado para analizar la adherencia de las mismas.

## **1.6. Objetivos de la investigación**

### **1.6.1. Objetivo general**

Analizar la adherencia entre agregado pétreo triturado y el cemento asfáltico 85-100, cuando a los especímenes de prueba, se aplica el ensayo de tracción indirecta; con la finalidad de establecer la relación entre la trituración del agregado y su adherencia con el cemento asfáltico.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar y caracterizar el agregado triturado de los tres bancos de material.
- Caracterizar el cemento asfáltico 85-100.
- Determinar las propiedades de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica.
- Determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico de cada de una de las tres mezclas.
- Analizar el valor de adherencia entre el agregado triturado de los tres bancos y el cemento asfáltico.

## **1.7. Hipótesis**

Si mezclamos el agregado triturado de tres bancos diferentes, con cemento asfáltico 85-100, se obtendrá tres tipos diferentes de mezcla asfáltica caliente, donde se elaborará briquetas, se realizarán pruebas con el ensayo de tracción indirecta, para conocer y comparar su adherencia de cada mezcla, que servirá para un análisis de resultados confiables que cumpla con las propiedades de adherencia.

## 1.8. Definición de las variables independientes y dependientes

### Variable independiente

Cemento asfáltico	=X <sub>1</sub>	}	X
Agregado chancadora Garzón	=X <sub>2</sub>		
Agregado chancadora Erika	= X <sub>3</sub>		
Agregado chancadora SEDECA	= X <sub>4</sub>		
X= Componentes de la mezcla asfáltica			

### Variable dependiente

Estabilidad	= Y <sub>1</sub>	}	Y
Fluencia	= Y <sub>2</sub>		
Y= Propiedades mecánicas			
Adherencia MA1	= Y <sub>i1</sub>	}	Y <sub>i</sub>
Adherencia MA2	= Y <sub>i2</sub>		
Adherencia MA3	= Y <sub>i3</sub>		
Y <sub>i</sub> = Adherencia			

### Definición de la variable

**Cemento asfáltico:** El cemento asfáltico es un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados, que se obtienen de la refinación del petróleo.

**Agregado triturado:** Los agregados son materiales de origen pétreo, pueden encontrarse de manera natural o pueden obtenerse mediante trituración de rocas de mayor tamaño. Los agregados finos y gruesos ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido.

**Adherencia:** La adherencia no es propiamente una propiedad del asfalto, sino del conjunto formado por el asfalto y otros cuerpos. Podemos definir la adhesividad entre el

asfalto y un material cualquiera como ha resistencia opuesta por el asfalto a despegarse del mineral una vez entrado en contacto con él.

**Estabilidad:** La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y desplazamientos de mezcla, que intervienen directamente en la funcionalidad de la vía.

**Fluencia:** El flujo se forma por la deformación máxima que se obtiene en la probeta de concreto asfáltico al momento en que se produce la falla por la aplicación de la carga. El flujo se expresa en centésimas de pulgada.

### Definición y operacionalización de las variables

#### 1.8.1.Variable independiente

**Tabla 1.1:** Variable independiente

Variable	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Componentes de la mezcla asfáltica	Cemento asfáltico	Convencional 85-100	Ensayo de caracterización
	Agregado triturado de diferente chancadora	Tipo de procedencia	Selección de chancadoras productoras de agregado triturado
		Textura de trituración	Visual
		Tamaño del agregado	Ensayo de caracterización

**Fuente:** Elaboración propia

## 1.8.2. Variable dependiente

**Tabla 1.2:** Variable dependiente

Variable	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Propiedades mecánicas	Estabilidad	Mínima de 500 lb. a 75 golpes	Presión con la prensa Marshall
	Flujo	Tasa de deformación 0.25mm a 75 golpes	Mediante lecturas de extensómetro
Adherencia	Resistencia	Resistencia retenida mínimo 80%	Someter a compresión diametral una briqueta cilíndrica ensayo a tracción indirecta
	Textura de rotura	Visual	Rotura diametral de una briqueta cilíndrica a tracción indirecta

**Fuente:** Elaboración propia

## 1.9. Diseño metodológico

### 1.9.1. Componentes

#### Unidad de estudio o muestreo

Ensayos de mezclas asfálticas de laboratorio.

#### Población

Ensayo Marshall

Ensayo de tracción indirecta

Ensayo de deformación plástica

Ensayo de pista

Ensayo de cántabro



Porcentaje de vacíos con aires en mezclas asfálticas compactadas

Espesor o altura de especímenes compactados de mezcla asfáltica

Grado de compactación de pavimentos de mezclas asfálticas

Peso unitario del concreto asfáltico en el terreno mediante método nuclear

Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas

## Muestra

Estabilidad

Fluencia

Adherencia

## Muestreo

**Tabla 1.3: Muestreo**

<b>Tabla de muestreo</b>								
<b>Ensayos</b>	<b>Cantidad (Ni)</b>	<b>pi</b>	<b>qi</b>	<b>pi*qi</b>	<b>Ni*pi*qi</b>	<b>wi</b>	<b>ni</b>	<b>Asumido</b>
<b>Caracterización de los agregados</b>								
Granulometría de áridos	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,06	4,13	9
Densidad aparente	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,06	4,13	9
Peso específico y absorción de agregado grueso	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,06	4,13	9
Peso específico y absorción de agregado fino	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,06	4,13	9
Desgaste de los ángeles	9	0,50	0,50	0,25	2,25	0,11	7,43	6
Equivalente arena y agregado fino	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,06	4,13	9
Durabilidad método de los sulfatos	1	0,50	0,50	0,25	0,25	0,01	0,83	3
Porcentaje de caras fracturadas	3	0,50	0,50	0,25	0,75	0,04	2,48	6
Límites de Attemberg	1	0,50	0,50	0,25	0,25	0,01	0,83	3
<b>Caracterización del cemento asfáltico</b>								
Peso específico	4	0,50	0,50	0,25	1,00	0,05	3,30	3
Punto de inflamación	4	0,50	0,50	0,25	1,00	0,05	3,30	3
Penetración	4	0,50	0,50	0,25	1,00	0,05	3,30	3
Peso específico	4	0,50	0,50	0,25	1,00	0,05	3,30	3
Punto de ablandamiento	4	0,50	0,50	0,25	1,00	0,05	3,30	3
Pérdida de masa	4	0,50	0,50	0,25	1,00	0,05	3,30	3

Propiedades mecánicas								
Estabilidad y fluencia mezcla 1,2,3	18	0,50	0,50	0,25	4,50	0,22	14,87	45
Adherencia								
Mezcla asfáltica 1,2,3	22	0,50	0,50	0,25	5,50	0,27	18,17	54
Total	81				20,25	1,00		180

Datos nivel confianza 95%	
z =	1,96
p =	0,5
q =	0,5
e =	0,05

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2} = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2}$$

N=	384,16	ensayos
N=	384	ensayos

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

n=	66,90	ensayos
n=	67	ensayos

**Fuente:** Elaboración 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, seleccionares y agruparemos las variables a analizar así estudiar las propiedades mecánicas, para verificar si estas cumplen las especificaciones mínimas de la fluencia y estabilidad de diseño Marshall y la adherencia entre agregado y cemento asfáltico de las mezclas asfálticas calientes.

## Ensayos de laboratorio a realizarse

De los agregados:

- Granulometría (ASTM C-71)
- Densidad aparente (ASTM C-29)
- Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM D 127)
- Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM D 128)
- Desgaste de los ángeles (ASTM C-131) o (ASSHTO T-96-99)
- Equivalente arena (ASTM D-2419)
- Durabilidad método de los sulfatos (ASTM C-88)
- Porcentaje de caras fracturadas (D -5821)

Del cemento asfáltico:

- Ensayo de peso específico (ASTM D-70) o (ASSHTO T-228)
- Ensayo de penetración (ASTM D-5) o (ASSHTO T-49)
- Ensayo de punto de inflamación (ASTM D-1310-01) o (ASSHTO T-48)
- Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D-36) o (ASSHTO T-53)
- Ensayo de Pérdida por calentamiento (ASTM D-2872) o (ASSHTO T-240)

Propiedades mecánicas:

Método Marshall (ASTM D-1559)

Ensayo de estabilidad y fluencia

Método tracción indirecta (AASHTO T-283.)

Ensayo de tracción indirecta

### 1.11. Tratamiento estadístico

Para la evaluación y validación de la investigación se utilizará 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.

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

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

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

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

**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 de las 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 norma AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las sollicitaciones 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 sollicitaciones 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.

**Tabla 1.4:** 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

**Fuente:** Norma AASHTO, guide for design of pavement structures 1993

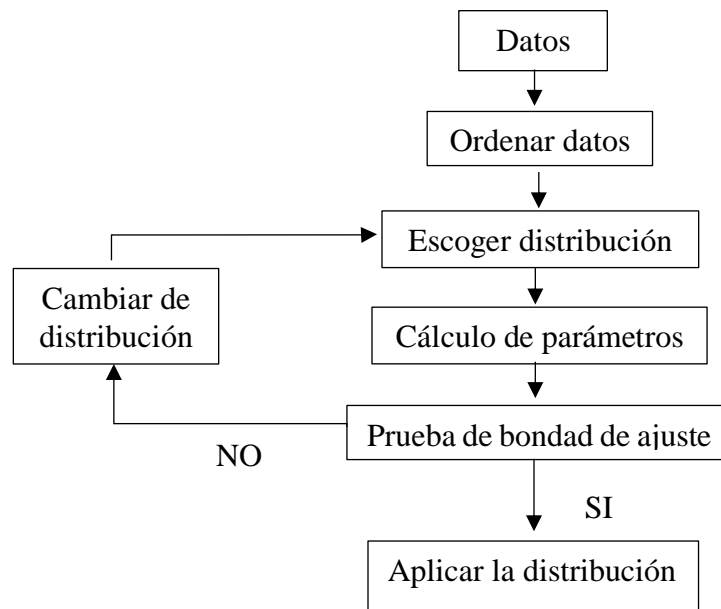
Para determinar el nivel de confianza de resultados se aplicó el método  $\text{CHI}^2$  con la distribución normal.

### 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 utilizará el programa estadístico Excel para obtener datos más precisos.

### 1.11.2. Estadística descriptiva

En la estadística descriptiva se utilizará para la determinación de los errores medios y el valor aceptado por distribución de frecuencias.

Error medio de la serie de datos:

$$\sum_{xi} = \sqrt{\frac{\sum(Xi-\bar{x})}{n-1}}$$

Error medio de la media:

$$\epsilon_{\bar{x}} = \frac{\epsilon_{xi}}{\sqrt{n}}$$

Error probable:

$$\epsilon_p = z * \epsilon_{\bar{x}}$$

Valor aceptado:

$$X_a = \bar{x} \pm$$

### 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

I.- Criterio e insumos

Información teórica

Recopilación de material

II.- Productos

Agregado triturado

Determinación de zonas de extracción

Muestreo

Ensayos de clasificación preliminares

Ensayos complementarios

Cemento asfáltico

Adquisición de cemento asfáltico

Ensayos de caracterización de cemento asfáltico

Especímenes y pruebas

Estabilidad y Flujo

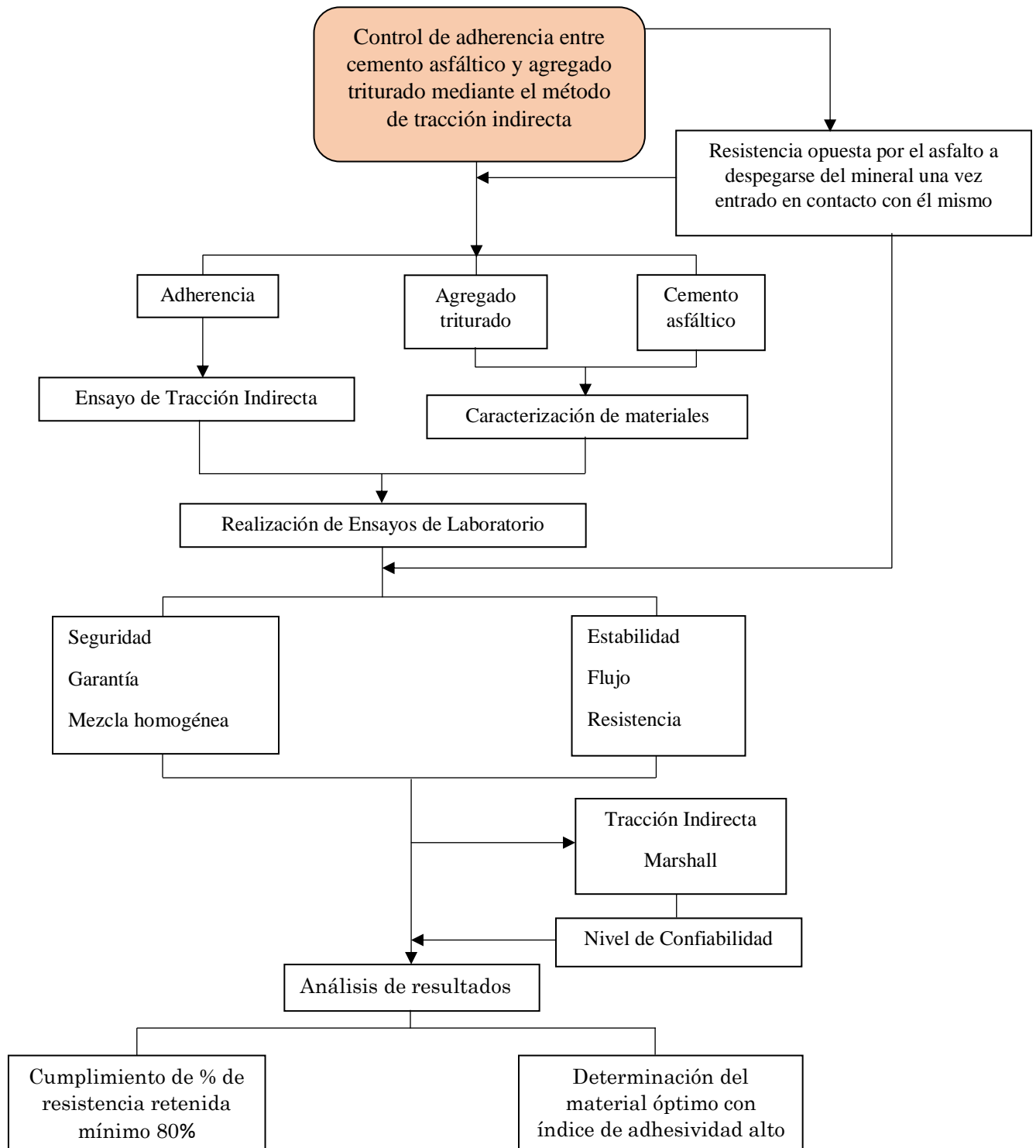
Adherencia

III.- Resultados

Trabajo de gabinete

Conclusiones y Recomendaciones

Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva





## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Pavimentos

El pavimento es un conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada (función estructural), proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Se deben diseñar con el fin de ofrecer un paso cómodo y seguro para cualquier automotor que se imponga sobre su superficie en determinado período de tiempo (objetivo funcional).

También se puede definir como una superestructura de una vía, construida sobre la subrasante, y compuesta normalmente por la sub-base, la base y la capa de rodadura, que cumplen como función soportar las cargas rodantes y llevar los esfuerzos al terreno de fundación, distribuyéndolos para que de tal forma no se produzcan deformaciones perjudiciales.

De manera general los pavimentos se clasifican en tres grandes grupos: Pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados. En el presente trabajo de investigación se centra en la adherencia del cemento asfáltico con los agregados pétreos en pavimentos flexibles, a continuación, se describe una estructura típica de este pavimento.

#### 2.1.1 Pavimento flexible

Es una estructura construida con productos bituminosos y materiales granulares. Se caracterizan por ser elementos continuos con la particularidad de que al aplicar una carga se deforma de manera apreciable en un área relativamente pequeña.

Generalmente la carpeta asfáltica está construida sobre dos capas no rígidas: la base y la sub-base. Las capas tienen una resistencia a la deformación decreciente con la profundidad, de manera similar a la disminución de las presiones transmitidas desde la superficie por las cargas del tránsito. Por lo general y salvo en Aquéllas estructuras no revestidas de vías para una intensidad muy baja de tránsito, los pavimentos flexibles tienen

al menos una capa de rodadura bituminosa. Igualmente, una variación pequeña de las características de la subrasante tiene gran incidencia en la capacidad estructural de toda la estructura.

Por lo cual las principales funciones de la carpeta asfáltica son:

**Estructural:** Se debe diseñar y construir de tal forma que sea resistente a los fenómenos de fatiga y acumulación de las deformaciones permanente, inducidas por las cargas cíclicas vehiculares en el tiempo. Así mismo, debe resistir a los efectos del clima.

**Funcional:** Debe estar diseñada de tal manera que permita la circulación cómoda y segura del parque automotor durante su vida útil.

**Impermeabilización:** Esta capa impide la penetración directa del agua a las capas subyacentes, disminuyendo la Pérdida de soporte que pueden experimentar las capas granulares y/o sub rasante al incrementarse el grado de saturación que lo conforman.

## 2.2 Cemento asfáltico

Es un material que se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo. Posee unas características muy específicas que lo hacen ideal para los trabajos de pavimentación, principalmente la cohesión y la adhesión con materiales granulares.

Tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente.

El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación.

### 2.2.1. Clasificación

Los asfaltos se pueden agrupar en tres clases:

**Cementos asfálticos (AC):** Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden clasificar bajo tres sistemas diferentes: viscosidad antes y después de envejecimiento y penetración. Se preparan comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 40-50, AC 60-70, AC 80-100. Los números indican la penetración en décimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto. (Larson, 1977)

**Asfaltos líquidos:** Se producen diluyendo cemento asfáltico en algún solvente del petróleo. Se agrupan en 3 clases, dependiendo de la rapidez con que se produce la evaporación del solvente (curado del asfalto).

SC: Asfaltos rebajados de curado lento.

MC: Asfaltos rebajados de curado medio.

RC: Asfaltos rebajados de curado rápido.

Esta denominación se suele acompañar de un número que indica el grado de viscosidad cinemática (RC-250, MC-70).

**Emulsiones asfálticas:** Se componen de dos elementos agua y cemento asfáltico. Se utilizan en tratamientos superficiales, riegos de adherencia, mezclas abiertas, estabilización de suelos y lechadas asfálticas. Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto, pueden ser catiónicas (C, carga +) o aniónicas. Dependiendo de la velocidad del rompimiento de la emulsión, se clasifican en rompimiento rápido (RR), medio (RM) o lento (RL).

### 2.3 Material pétreo

Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica.

#### Caracterización de material granular según su procedencia

“Aunque básicamente los agregados pueden clasificarse por su tamaño en finos y gruesos, hay que destacar la influencia de asociaciones (como por ejemplo ASTM o ACI), las

cuales tienen un alcance internacional y son adoptadas para el establecimiento de normas, reglamentos y leyes, de varios países.

**Agregados naturales:** Formados por procesos geológicos.

**Agregados artificiales:** Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios. Algunos de éstos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada.

**Piedra triturada:** Producto que resulta de la trituración artificial de rocas, piedra boleada o pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración.

**Fotografía 2.1:** Agregado triturado



**Fuente:** <https://www.tecnología de los materiales agregado.com.bo>

### **2.3.1 Tipos de agregados o áridos utilizados en las mezclas asfálticas**

#### **2.3.1.1 Definición de áridos o agregados**

##### **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%.

### **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 N° 4. Normalmente son obtenidos de gravas naturales de lechos de los ríos, rocas trituradas o de gravas trituradas y zarandeadas.

### **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 lajas, 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 lajas y de agujas de las distintas fracciones del árido grueso.

### **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 N° 4 y queda retenido en el tamiz N° 200. son obtenidos de arena natural proveniente de las facciones 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.

### **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 N° 200.

El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en 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 cemento 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 cemento asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el cemento asfáltico.

**Tabla 2.1:** Planilla de clasificación de agregados según SUCS

Descripción	Tamices	Observación o aclaración
Agregado grueso	1"	Total de agregado que queda retenido hasta tamiz N°4
	3/4"	
	1/2"	
	3/8"	
	N° 4	
Agregado fino	N° 4	Total de agregado pétreo que pasa el tamiz N° 4 y queda retenido en el tamiz N° 200.
	N° 8	
	N° 16	
	N° 40	
	N° 80	
	N° 200	
Filler	N° 200	Total que pasa el tamiz N° 200

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.2. 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.

**Fotografía 2.2:** Serie de tamices para la realización de granulometría



**Fuente:** <https://www.google.com/tamices>

#### Densidad aparente

Dentro de las propiedades físicas de los agregados que dependen directamente de las propiedades de la roca original de donde provienen se encuentra la densidad, la cual está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada.

### **Peso específico de agregado grueso y fino**

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Dentro de las propiedades físicas de los agregados que dependen directamente de las propiedades de la roca original de donde provienen se encuentra la densidad, la cual está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada. Sin embargo, en el caso de los agregados para concreto hay necesidad de definir cuidadosamente el término densidad, puesto que generalmente entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacío, parcialmente saturado o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna.

### **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 2,5 mm de densidad neta entre 2 y 3 kg/m<sup>3</sup> mediante la máquina de los ángeles.

### **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.

### **Durabilidad método de sulfatos**

Este método describe el procedimiento para determinar la durabilidad de áridos. El índice de durabilidad es un valor que muestra la resistencia relativa de un árido para producir finos dañinos, del tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica que se describe.

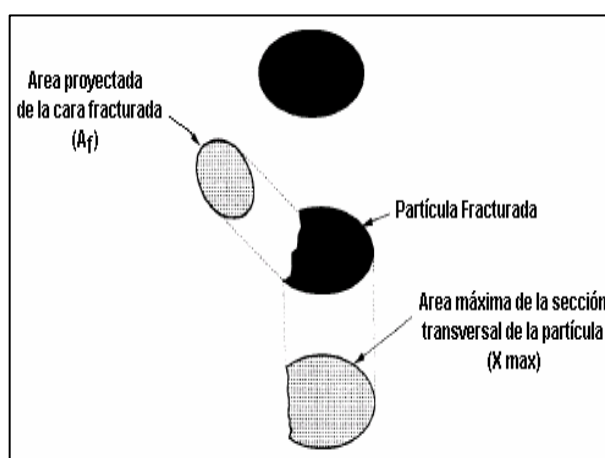
### **Ensayo caras fracturadas**

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, sólo 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 2.1).

**Figura 2.1:** Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada



**Fuente:** Porcentaje de caras fracturas en los agregados

#### 2.4. Mezcla asfáltica

La mezcla asfáltica también conocida como hormigón bituminoso o hormigón asfáltico, es un compuesto generado por una combinación de un cemento asfáltico y agregados pétreos en proporciones exactas, aproximadamente constituidas por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de cemento asfáltico, son componentes muy importantes para su funcionamiento. Se elaboran normalmente en plantas mezcladoras, pero en algunos casos pueden fabricarse in situ. Las proporciones de los minerales determinan buenas propiedades físicas de la mezcla y el rendimiento para un determinado uso.

Las mezclas asfálticas es el material más utilizado común mente para la ejecución de carreteras, aeropuertos, aparcamientos y también se usa en el núcleo de ciertas presas como impermeabilizante. Toda mezcla asfáltica es diseñada para cumplir con lo siguiente: Debe ser duradera y resistente al despegue de la película de asfalto por efectos del agua, a la abrasión del tránsito.

Debe ser impermeable para que los componentes no estén bajo la acción de los agentes atmosféricos.

Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

Con el fin de determinar el posible comportamiento de la mezcla asfáltica en la estructura del pavimento, se prepara una mezcla en el laboratorio en la que se analiza principalmente tres propiedades:

**Densidad:** Es el peso de un volumen específico de mezcla. La densidad obtenida en el laboratorio es la densidad patrón y la densidad obtenida in-situ se expresa como un porcentaje de la misma. Una densidad alta en el pavimento terminado se traduce en una mayor durabilidad.

**Vacíos de aire:** Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional.

**Contenido de asfalto:** El contenido total de asfalto, es la cantidad necesaria que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla, manejo y durabilidad. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es decir, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados, para que éstos tengan una manejabilidad aceptable.

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

#### **2.4.1. 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:

**La función resistente:** Determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.

**La finalidad:** 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.

#### **2.4.2. 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.

##### **Mezcla asfáltica abierta 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 compactaciones con lo que su resistencia mecánica a la transmisión de cargas es menor.

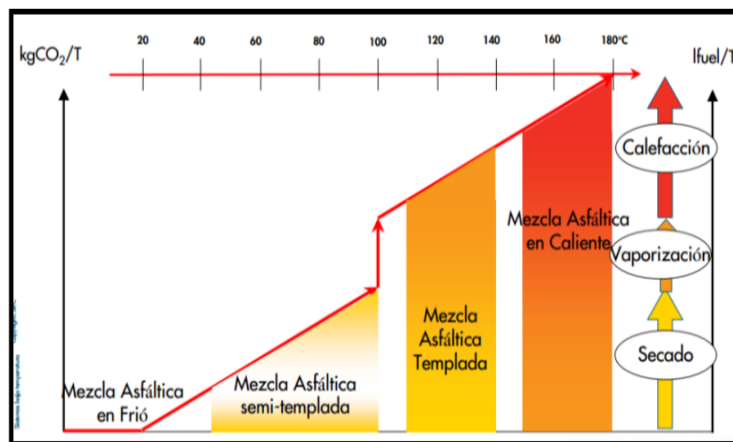
##### **Mezclas asfálticas en caliente**

Fabricadas con asfaltos a temperaturas elevadas, en el rango de los 150°C a 180°C, según la viscosidad del cemento asfáltico, 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, éstos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente

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.

**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

### 2.4.3. 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 ello 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.

## 2.5. Ensayo Marshall

Para llevar a cabo el diseño de una mezcla asfáltica en Colombia se utiliza comúnmente el método Marshall, que se encarga de determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, también provee información sobre propiedades de

la mezcla asfáltica en caliente estableciendo densidades y contenidos óptimos de vacío que se deben tener en cuenta durante la construcción.

Este método solo se aplica para mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico clasificado en cuanto a viscosidad, penetración y contenido de agregados en tamaños máximos de 25 mm. El Marshall es muy utilizado para diseño en el laboratorio, sirve de control de campo de mezclas asfálticas.

En el método Marshall se utilizan muestras de pruebas denominadas (probetas) que tienen unas dimensiones 64 mm (2.5") espesor por 103mm (4") de diámetro. Se hace una serie de probetas con la misma combinación de agregados, pero con diferentes tipos de asfaltos. Hay dos cosas que se deben tener muy en cuenta del diseño de mezclas por medio del método Marshall: hacer un análisis de la relación de vacíos-densidad y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

### **Estabilidad de la mezcla (Lb)**

La estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica es la carga máxima en libras que soporta una probeta aproximadamente de 6,35 cm 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.

### **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.

**Figura 2.3:** Prensa Marshall



**Fuente:** <https://www.equipomarsahall.ar>

### Criterios de diseño de mezclas Marshall

**Tabla 2.2:** Planilla de criterios de diseño Marshall

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	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	-----	1200	-----
Flujo (0,25 mm) (0,01")	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

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

#### 2.5.1. Diseño Marshall de mezclas asfálticas

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, los 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 3/4", gravilla de 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 gr; se determina el contenido de asfalto en peso equivalente a un porcentaje del peso total de la briketa.

Conociendo el peso del agregado que tiene que ocupar cada briketa por la diferencia en peso entre el total de la briketa 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.

## **2.6. Ensayo de tracción indirecta**

Para la evaluación de la adherencia Árido cemento asfáltico, se ha utilizado el test de ensayo a tracción indirecta también llamado Lottman modificado.

El método propone evaluar la resistencia de las mezclas asfálticas compactadas, al daño causado por la humedad, utilizando el método propuesto por la norma ASSHTO T-283: conocido también como test de Lottman modificado. Es un ensayo que se ajusta más a las condiciones de obra cuantificando la adhesividad. El mismo ha permitido determinar la resistencia a la tracción indirecta de las muestras, midiendo la pérdida de cohesión de una mezcla compactada como resultado de los efectos de la saturación acelerada en agua, permitiendo medir la resistencia de la mezcla en su conjunto.

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, que es definida por medio del ensayo Marshall, se le aplica una carga de manera uniforme por medio de dos líneas opuestas hasta generar una rotura.

De esta manera la carga induce un esfuerzo de tracción uniforme en todo el diámetro plano de carga vertical, a continuación, se ilustrará una imagen para llevar a cabo un mejor entendimiento.

La probeta es cargada a compresión según un plano diametral vertical de la misma. Para poder cargar la probeta a compresión en un plano diametral vertical, se requiere de un dispositivo de sujeción de la probeta a través del cual se materialice dicho plano de carga. Como parte de este dispositivo, y en contacto directo con dos generatrices diametralmente opuestas de la probeta, existen dos elementos encargados de evitar la rotura local de la

probeta durante el ensayo. Se utilizan unas placas de apoyo curvo, con radio de curvatura igual al radio nominal de la probeta, de 12,7 o 25,4 mm de ancho. Por la norma la velocidad de desplazamiento del sistema durante la carga será uniforme e igual a 50,8 mm/min, igual a la empleada por la prensa en el ensayo Marshall. Como la respuesta del material es altamente dependiente de la temperatura, la temperatura será una variable más para el ensayo. El ensayo de tracción indirecta tiene validez para materiales de comportamiento fundamentalmente elástico y lineal.

La principal ventaja de este ensayo es la sencillez en cuanto a su metodología. Es muy valorado por las instituciones que necesitan caracterizar de una forma rápida, confiable y económica los pavimentos que gestionan. Es un método que cuenta con varias ventajas:

Presenta similitud con otro tipo de ensayos como el Marshall.

El tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otro tipo de ensayos.

El ensayo puede utilizarse bajo carga estática o dinámica, modificando la prensa en función del tipo de estudio que se realice.

La rotura se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones de tracción.

La rotura no se ve afectada por las condiciones de la superficie de la probeta.

El procedimiento consta de los siguientes pasos:

Un grupo de probetas deben ser ensayadas a tracción indirecta luego de estar acondicionadas en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, denominado grupo en seco.

El segundo grupo, se acondicionará de la siguiente manera: primero se saturan las probetas colocadas en un recipiente con agua por medio de vacío, luego se colocan a -5 °C durante 16 horas, cumplido este paso se colocan las probetas en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas, inmediatamente después se colocan en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, para luego ser ensayadas a tracción indirecta.

### **2.6.1. Ecuaciones a utilizar para el cálculo de resistencia conservada**

Algunos criterios a tener en cuenta para el cálculo de la resistencia a la tensión y resistencia conservada.

En primer lugar, a las probetas se les determina una altura inicial inmediatamente antes de la prueba en (mm), después de esto se toma la medida de su diámetro a cada espécimen, además se registra la lectura cuando alcanza su carga máxima, esta carga nos dio en (Kg).

En segundo lugar, obteniendo los valores anteriormente mencionados se calculó la resistencia a la tensión para cada espécimen, tipo de agregado y asfalto como lo indica la ecuación 1.

### **Resistencia a la tensión**

$$R_T = \frac{2 \times P}{\pi \times t \times D} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$$\pi = 3.141592654$$

t = Altura espécimen (mm)

D= Diámetro espécimen (mm)

P= Carga (kg)

Por último, se calculó el porcentaje de resistencia conservada a la tracción indirecta de todas las probetas tanto del subgrupo sometidas al agua como las del subgrupo mantenido en seco, seguido de esto se procede a sacar un promedio de las resistencias obtenidas por tipo de asfalto utilizado, se divide el subgrupo acondicionado al agua entre el subgrupo acondicionado en seco y el resultado se multiplica por cien, tal como se indica en la ecuación 2.

### **Relación de resistencias a la tensión**

$$R_{RT} = \left[ \frac{R_{TH}}{R_{TS}} \right] \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

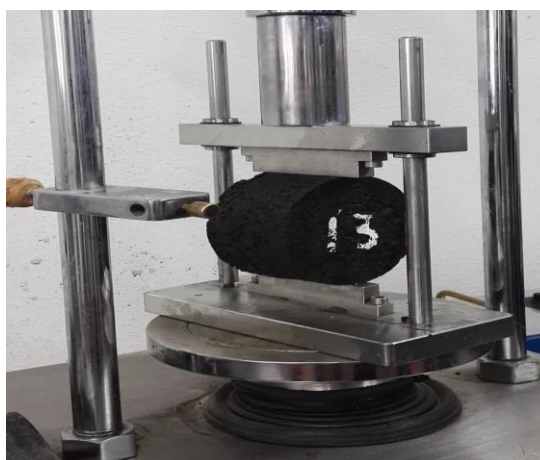
$R_{TH}$  = Resistencia promedio a la tensión, del subgrupo acondicionado al agua

$R_{TS}$  = Resistencia promedio a la tensión, del subgrupo mantenido en seco

Encontramos relacionado el porcentaje mínimo exigido por la norma AASHTO T-283 para la verificación del diseño preliminar en cuanto adherencia se refiere, dicho porcentaje

es el punto de referencia que adoptamos para evaluar la adherencia, si el porcentaje de resistencia conservada obtenido es inferior al 80% el valor mínimo de exigencia de la relación de las tensiones de tracción indirecta, el material no cumple con esta propiedad y debe ser modificado con un aditivo mejorador de adherencia.

**Figura 2.4:** Prensa de tracción indirecta



Fuente: <https://www.google.com/searchbiw=prensa+traccion+indirecta>

## 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:

**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.

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

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

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. Es evidente que cuanto más blando sea el asfalto mayor será la cifra que indique su penetración.

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

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

El punto de inflamación de un cemento 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 cemento 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.

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

### **Ensayo de tracción indirecta**

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, que es definida por medio del ensayo Marshall, se le aplica una carga de manera uniforme por medio de dos líneas opuestas hasta generar una rotura.

El ensayo a tracción Indirecta se determina normalmente por el método de Lottman, descrito en los métodos AASHTO T-283.

## 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 un análisis que se realizó de los bancos de materiales ubicados en la ciudad de Tarija se optó por utilizar los agregados de los siguientes lugares: planta de agregados “Garzón, Erika, SEDECA” debido que cuentan con material triturado, limpio no contiene muchas impurezas en su composición además de ser los bancos de material más utilizados para la producción de asfalto en nuestra región.

##### **Planta de agregados Garzón:**

La planta de agregados Garzón, ubicada en la comunidad de San Mateo de la provincia Cercado departamento Tarija – Bolivia a una latitud  $21^{\circ} 28' 15,44''$  S y longitud  $64^{\circ} 45' 3,61''$  W, la planta de agregados se encuentra junto al río San Mateo 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.

<b>Departamento</b>	Tarija
<b>Provincia</b>	Cercado
<b>Micro localización</b>	Comunidad de San Mateo
<b>Coordenadas geográficas</b>	Latitud : $21^{\circ} 28' 15,44''$ S Longitud : $64^{\circ} 45' 3,61''$ W
<b>Coordenadas UTM (m)</b>	X: 318576,48 Y: 7624713,99 Zona: 20

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



**Fuente:** Google earth

El material de agregado que se utiliza se extrae del río de Sella, se transporta el material en volquetas hasta la plata chancadora ubicada en San Mateo, se junta un acopio de material en la chancadora, para luego empezar con el proceso de trituración.

**Fotografía 3.1:** Trituradora de agregado



**Fuente:** Elaboración Propia



Para empezar con el proceso se selecciona el material como máximo un diámetro 13 pulgadas, luego se alimenta a un cajón alimentador para que pase a la muela primaria quien se encarga de hacer el trabajo duro de trituración, de ahí pasa a la criba donde se vuelve a seleccionar el agregado en tres tamaños 3/4, 3/8, 3/16 pulgadas, si hay agregado de diámetro más grande es de nuevo transportado al cono para ser triturado y volver a la cinta hasta la criba donde se vuelve a seleccionar, hasta obtener los productos finales que son ordenados según su tamaño en su respectivo lugar.

**Fotografía 3.2:** Equipo de trituración



**Fuente:** Elaboración Propia

El proceso de trituración se repite dos veces, todo el equipo funciona con energía trifásica, los equipos se los prende en la mañana y trabajan todo el día.

**Fotografía 3.3:** Bandas transportadoras del agregado



**Fuente:** Elaboración Propia

### Planta de agregados Erika:

La planta de agregados Erika ubicada en la carretera a San Lorenzo de la provincia Méndez departamento Tarija – Bolivia a una latitud  $21^{\circ} 28' 22,81''$  S y longitud  $64^{\circ} 45' 17,86''$  S, la planta de agregados se encuentra junto al río Guadalquivir afluente de dónde extrae la materia prima para su respectivo proceso de chancado, y así producir material granular de menores dimensiones, como ser: grava, gravilla y arena.

<b>Departamento</b>	Tarija
<b>Provincia</b>	Méndez
<b>Micro localización</b>	Comunidad de Tomatitas
<b>Coordenadas geográficas</b>	Latitud : $21^{\circ} 28' 22,81''$ S Longitud : $64^{\circ} 45' 17,86''$ S
<b>Coordenadas UTM (m)</b>	X: 318168.94 Y: 7624482.87 Zona: 20

**Figura 3.2:** Vista satelital de la ubicación de la planta de agregados Erika



**Fuente:** Google earth

La materia prima de agregado se extrae del río Guadalquivir, luego se la transporta en volquetas hasta la plata chancadora ubicada en Tomatitas, donde ahí se forman acopios de material para luego realizar el proceso de triturado.

**Fotografía 3.4:** Primera trituradora



**Fuente:** Elaboración Propia

Antes de empezar con el proceso de trituración se lo selecciona mediante una zaranda, para que solo pasen piedras hasta 12 pulgadas, así evitar que el material se quede atorado y obstruya el proceso. El material seleccionado se llena a la tolva de la trituradora que cuenta con su vibradora que se encarga de alimentar a la muela, quien hace todo el trabajo bruto de trituración.

**Fotografía 3.5:** Trituradora de cono



**Fuente:** Elaboración Propia

Los materiales triturados son transportados por la cinta transportadora a la clasificadora compuesta por zarandas en 3 niveles 3/4, 3/8, 3/16 pulgadas, para luego pasar a la trituradora de cono para la segunda trituración, si el agregado sigue de mayor diámetro que 1 pulgada vuelve a la cinta transportadora y otra vez al cono, este proceso se repite hasta que se logre obtener diámetros 3/4, 3/8, 3/16 pulgadas, el agregado es lavado cuando pasa por las zarandas y depositado a su respectivo lugar.

**Fotografía 3.6:** Trituradora de cono vista lateral



**Fuente:** Elaboración Propia

Los equipos son de industria brasilera, todo el equipo funciona con energía trifásica de SETAR que hace funcionar todos los equipos durante todo el día de producción.

### Planta de agregados SEDECA:

La planta de agregados de SEDECA se ubica en la comunidad de Charaja de la provincia Avilés departamento Tarija – Bolivia a una latitud  $21^{\circ} 46' 55,3''$  S y longitud  $64^{\circ} 46' 14,2''$  W, la planta de agregados se encuentra junto al río Camacho 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.

<b>Departamento</b>	Tarija
<b>Provincia</b>	Avilés
<b>Micro localización</b>	Comunidad de San José de Charaja
<b>Coordenadas geométricas</b>	Latitud : $21^{\circ} 46' 55,3''$ S Longitud : $64^{\circ} 46' 14,2''$ W
<b>Coordenadas UTM (m)</b>	X: 316938.03 Y: 7590250.10 Zona: 20

**Figura 3.3:** Vista satelital de la ubicación de la planta de agregados SEDECA



**Fuente:** Google earth

Todo el material de agregado que se utiliza se extrae del río Camacho, exactamente del puente Mollar, se extrae el material río arriba y río abajo, luego se transporta el material en volquetas hasta la planta chancadora ubicada en San José de Charaja.

**Fotografía 3.7:** Trituradora encargada del trabajo bruto



**Fuente:** Elaboración Propia

Una vez que llega el material hasta la planta chancadora se lo selecciona mediante una zaranda, para que solo pasen piedras de diámetro máximo 13 pulgadas, así para evitar que el material se quede trancado y perjudique la producción. Después se llena a la trituradora secundaria que es una macallama con 2 muelas una móvil y una fija, las muelas son de 13 dientes compuesta por trituradora de mandíbula, quien hace todo el trabajo bruto.

**Fotografía 3.8:** Cinta transportadora del agregado



**Fuente:** Elaboración Propia

Después los materiales triturados son transportados por la cinta transportadora hasta la zaranda, se utilizan 4 tipos de zaranda para sacar material de 1, 3/4, 3/8, 3/16 pulgadas, donde lo selecciona el material, si queda un poco de material mayor a 1 pulgada vuelve a entrar a la trituradora de cono, donde se vuelve a triturar, ahí depende de lo que se quiera producir para graduar la zaranda, no se desperdicia nada de material bruto, el proceso de trituración se repite 2 veces.

**Fotografía 3.9:** Trituradora de cono



**Fuente:** Elaboración Propia

Los quipos son del año 2007 y 2008, funcionan con un generador con capacidad de 550 cabezas, que hace funcionar 5 motores, la producción empieza a las 6 a.m. y se termina 6 p.m.

**Fotografía 3.10:** Almacenamiento del material triturado



**Fuente:** Elaboración Propia

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 las granulometrías de las plantas de trituración de áridos “Garzón, Erika, SEDECA”

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

Tamiz (mm/U.S. Standard)							
Tipo de mezcla	25	19	12,5	4,75	2,360	0,425	0,075
	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

**Fuente:** Norma de especificación AASHTO

### 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

### 3.1.3. Criterio de número de ensayos a realizarse

La presente investigación se desglosará en los siguientes ensayos de caracterización del cemento asfáltico y áridos, además de realizar 1 diseño Marshall para cada banco de material para obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, y mediante ese punto



obtener las mezclas asfálticas para proceder a su análisis de adherencia mediante el método de Tracción Indirecta.

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**

**Granulometría:** Para cada banco de material se realizará 1 granulometría de agregados, es decir una granulometría, para poder utilizarlo en la dosificación de las briquetas.

**Densidad aparente:** Para cada banco de material se realizará 3 ensayos de densidad aparente suelto y compactado del agregado grueso de los agregados de 3/4", 3/8" y fino (arena) para posteriormente utilizarlo en los cálculos siguientes.

**Peso específico y absorción del agregado grueso:** Para cada banco de material se realizará 3 ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso de los agregados de 3/4" y 3/8" para posteriormente utilizarlo en los cálculos siguientes.

**Peso específico del agregado fino:** Para cada banco de material se realizará 3 ensayos del agregado fino y posteriormente se sacara su promedio para utilizarlo en los cálculos.

**Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles:** Para cada banco de material se realizará 1 ensayo de los agregados de 3/4" y 3/8".

**Equivalente de la arena y agregado fino:** Para cada banco de material se realizará 3 ensayos de equivalente de la arena, de los cuales se sacara un promedio el cual será utilizado para los siguientes cálculos.

**Durabilidad método de los sulfatos:** Para cada banco de material se realizará 1 ensayo para el agregado grueso y uno para el agregado fino.

**Porcentaje de caras fracturadas en los agregados:** Para cada banco de material se realizará 3 ensayos de porcentaje de caras fracturadas, para el agregado de 3/4" y 3/8" de cada una se sacara un promedio aritmético.

### **Caracterización del cemento asfáltico**

**Ensayo de peso específico:** Se realizará 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

**Ensayo de penetración:** Se realizará 3 ensayos de penetración del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.

**Ensayo de punto de inflamación:** Se realizará 3 ensayos del punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

**Ensayo de punto de ablandamiento anillo y bola:** Se realizará 3 ensayos del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio aritmético.

**Ensayo de película delgada:** Se realizará 3 ensayos del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio aritmético.

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

**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 realizará 1 diseño para cada banco de material, 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 chancadora Garzón

**Tabla 3.2:** Número de briquetas según la variación de porcentaje de cemento asfáltico para encontrar el óptimo de asfalto del diseño Marshall 1

Descripción	Número de briquetas(unidad)	Variación de porcentaje de cemento asfáltico (% de CA)
Diseño 1 chancadora Garzón	3	4,50 %
	3	5,00 %
	3	5,50 %
	3	6,00 %
	3	6,50 %
Total briquetas elaboradas	15	

Fuente: Elaboración propia

### Diseño Marshall 2 chancadora Erika

**Tabla 3.3:** Número de briquetas según la variación de porcentaje de cemento asfáltico para encontrar el óptimo de asfalto del diseño Marshall 2

Descripción	Número de briquetas(unidad)	Variación de porcentaje de cemento asfáltico (% de CA)
Diseño 2 chancadora Erika	3	4,50 %
	3	5,00 %
	3	5,50 %
	3	6,00 %
	3	6,50 %
Total briquetas elaboradas	15	

Fuente: Elaboración propia

### Diseño Marshall 3 chancadora SEDECA

**Tabla 3.4:** Número de briquetas según la variación de porcentaje de cemento asfáltico para encontrar el óptimo de asfalto del diseño Marshall 3

Descripción	Número de briquetas(unidad)	Variación de porcentaje de cemento asfáltico (% de CA)
Diseño 3 chancadora SEDECA	3	4,50 %
	3	5,00 %
	3	5,50 %
	3	6,00 %
	3	6,50 %
Total briquetas elaboradas	15	

**Fuente:** Elaboración propia

Se realizarán 15 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 tipo y el porcentaje de agregados en la mezcla, del cual se obtendrá el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizar en los cálculos .

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

### 3.2. 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.

### 3.2.1. Granulometrías (ASTM C-71)

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 abre 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 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, 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.

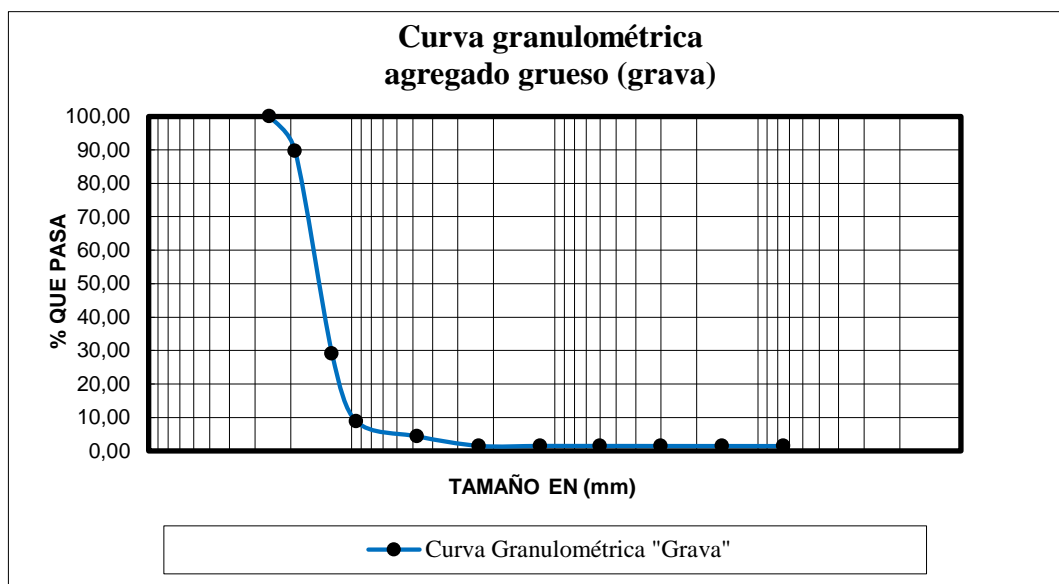
#### Granulometría 1 chancadora Garzón

##### Agregado grueso (grava)

**Tabla 3.5:** Granulometría 1 grava chancadora Garzón

Peso total (gr) = 3000					
Tamices	tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% ret.	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	310,10	310,10	10,34	89,66
1/2"	12,50	1816,60	2126,70	70,89	29,11
3/8"	9,50	607,50	2734,20	91,14	8,86
N°4	4,70	134,80	2869,00	95,63	4,37
N°8	2,36	85,00	2954,00	98,47	1,53
N°16	1,18	0,50	2954,50	98,48	1,52
N°30	0,60	0,40	2954,90	98,50	1,50
N°50	0,30	0,50	2955,40	98,51	1,49
N°100	0,15	0,30	2955,70	98,52	1,48
N°200	0,07	0,20	2955,90	98,53	1,47
Base	-----	19,30	2975,20	99,17	0,83
	Suma	2975,20			
	Pérdidas	24,80			
	Mf	7,78			

**Fuente:** Elaboración propia

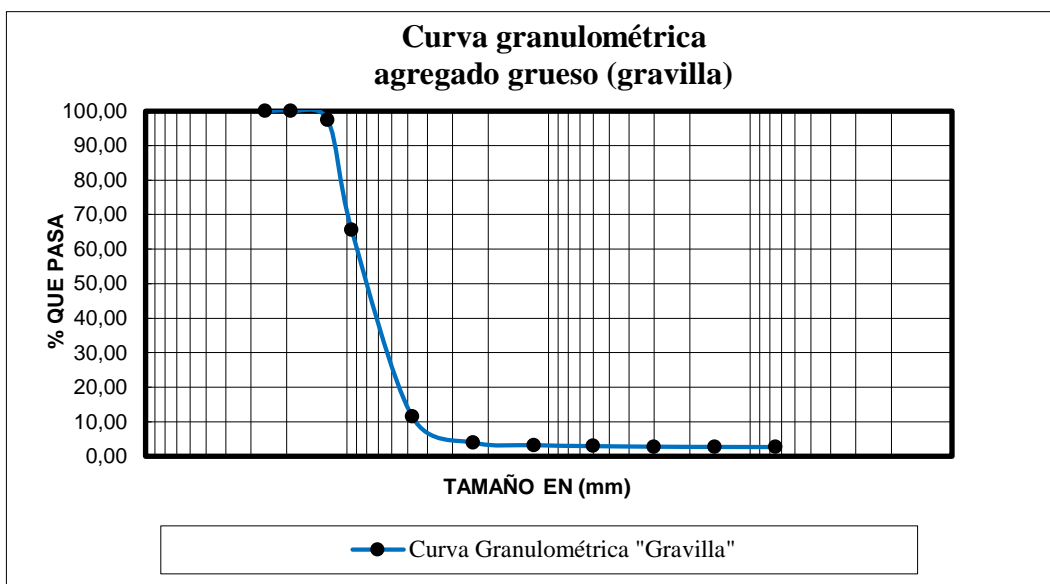
**Figura 3.4:** Curva granulométrica 1 grava chancadora Garzón

Fuente: Elaboración propia

**Agregado grueso (gravilla)****Tabla 3.6:** Granulometría 1 gravilla chancadora Garzón

Peso total (gr) = 3000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% ret.	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	76,90	76,90	2,56	97,44
3/8"	9,50	956,00	1032,90	34,43	65,57
N°4	4,75	1623,00	2655,90	88,53	11,47
N°8	2,36	225,50	2881,40	96,05	3,95
N°16	1,18	22,00	2903,40	96,78	3,22
N°30	0,60	8,00	2911,40	97,05	2,95
N°50	0,30	5,00	2916,40	97,21	2,79
N°100	0,15	2,00	2918,40	97,28	2,72
N°200	0,07	1,20	2919,60	97,32	2,68
Base	-----	8,60	2928,20	97,61	2,39
	Suma	2928,20			
	Pérdidas	71,80			
	Mf	7,05			

Fuente: Elaboración propia

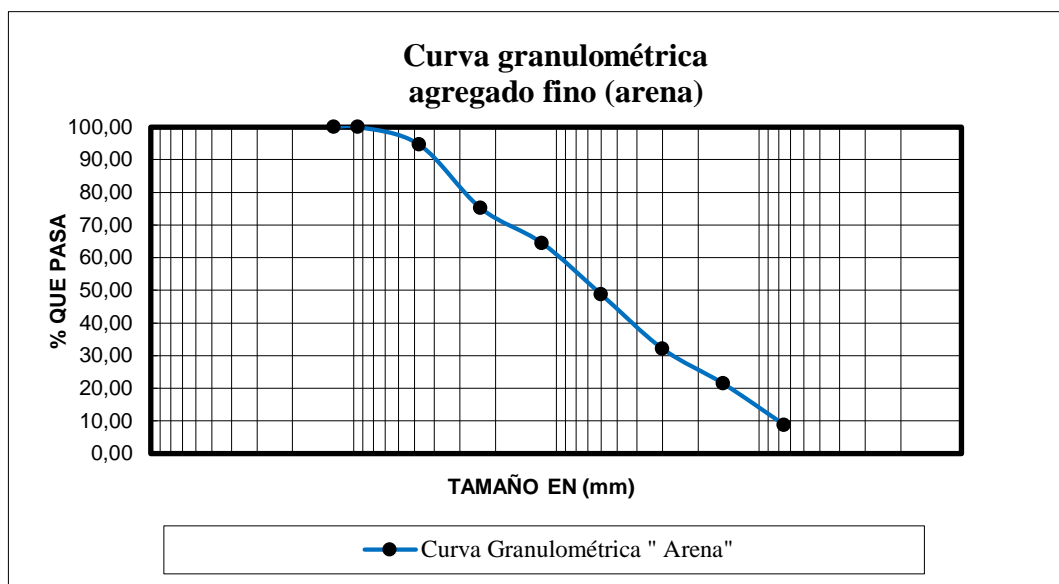
**Figura 3.5:** Curva granulométrica 1 gravilla chancadora Garzón

Fuente: Elaboración propia

**Agregado fino (arena)****Tabla 3.7:** Granulometría 1 arena chancadora Garzón

Peso total (gr) = 800					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	43,10	43,10	5,39	94,61
N°8	2,36	155,90	199,00	24,88	75,13
N°16	1,18	85,00	284,00	35,50	64,50
N°30	0,60	126,20	410,20	51,28	48,73
N°40	0,30	132,40	542,60	67,83	32,18
N°100	0,15	86,00	628,60	78,58	21,43
N°200	0,075	100,80	729,40	91,18	8,83
Base	-----	6,00	735,40	91,93	8,08
	Suma	735,40			
	Pérdidas	64,60			
	Mf	3,55			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.6:** Curva granulométrica 1 arena chancadora Garzón

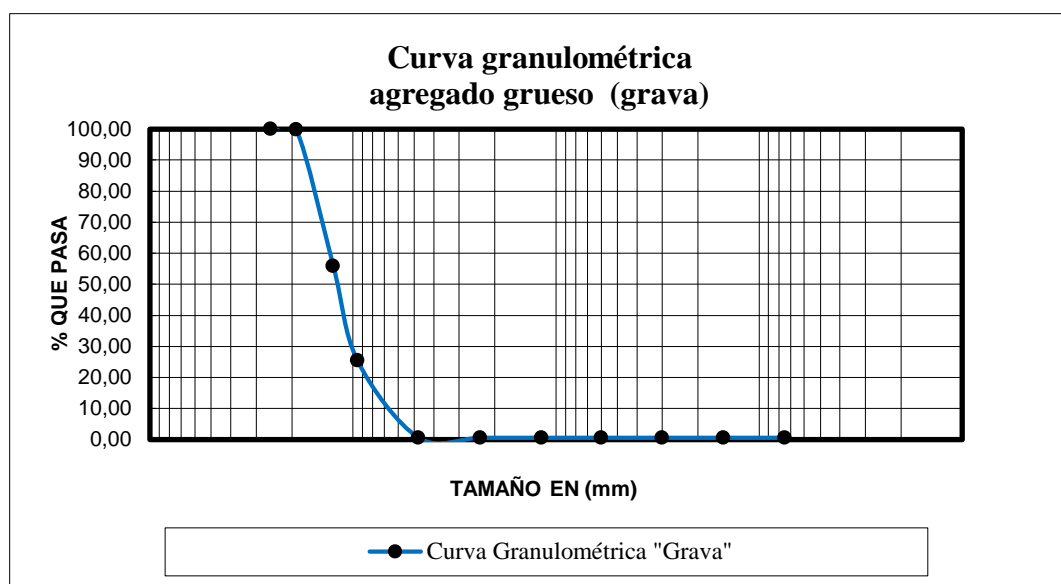
Fuente: Elaboración propia

**Granulometría 2 chancadora Erika****Agregado grueso (grava)****Tabla 3.8:** Granulometría 2 grava chancadora Erika

Peso total (gr) = 3000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	7,00	7,00	0,23	99,77
1/2"	12,50	1315,40	1322,40	44,08	55,92
3/8"	9,50	914,40	2236,80	74,56	25,44
N°4	4,75	745,00	2981,80	99,39	0,61
N°8	2,36	0,00	2981,80	99,39	0,61
N°16	1,18	0,00	2981,80	99,39	0,61
N°30	0,60	0,00	2981,80	99,39	0,61
N°40	0,30	0,00	2981,80	99,39	0,61
N°100	0,15	0,00	2981,80	99,39	0,61
N°200	0,075	0,00	2981,80	99,39	0,61
Base	-----	9,20	2991,00	99,70	0,30
Suma		2991,00			
Pérdidas		9,00			
Mf		7,70			

Fuente: Elaboración propia



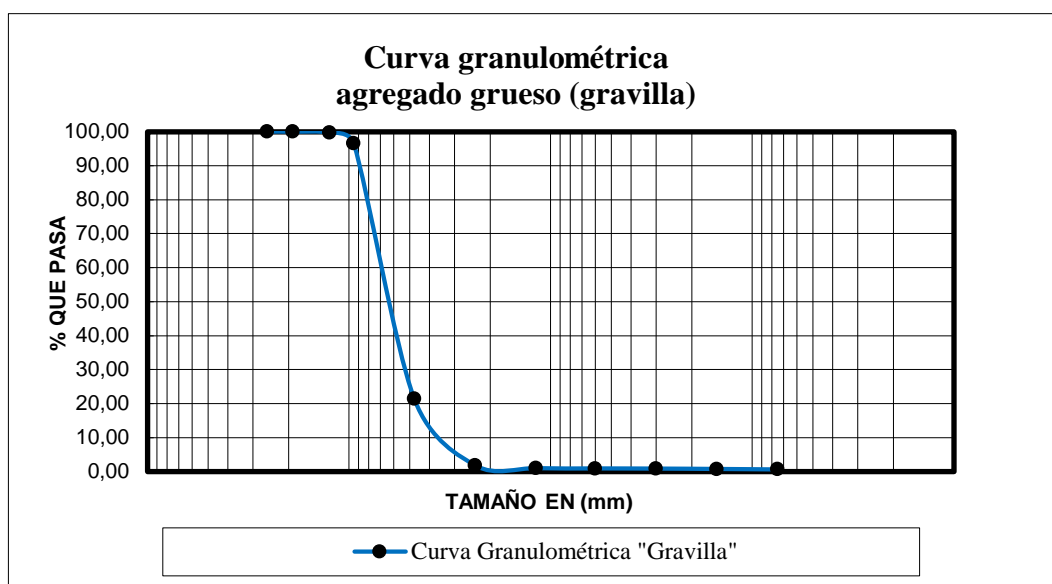
**Figura 3.7:** Curva granulométrica 2 grava chancadora Erika

Fuente: Elaboración propia

**Agregado grueso (gravilla)****Tabla 3.9:** Granulometría 2 gravilla chancadora Erika

Peso total (gr) = 3000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	8,20	8,20	0,27	99,73
3/8"	9,50	93,10	101,30	3,38	96,62
Nº4	4,75	2257,10	2358,40	78,61	21,39
Nº8	2,36	586,70	2945,10	98,17	1,83
Nº16	1,18	24,10	2969,20	98,97	1,03
Nº30	0,60	2,20	2971,40	99,05	0,95
Nº50	0,30	1,40	2972,80	99,09	0,91
Nº100	0,15	3,30	2976,10	99,20	0,80
Nº200	0,075	4,20	2980,30	99,34	0,66
Base	-----	12,70	2993,00	99,77	0,23
	Suma	2993,00			
	Pérdidas	7,00			
	Mf	6,76			

Fuente: Elaboración propia

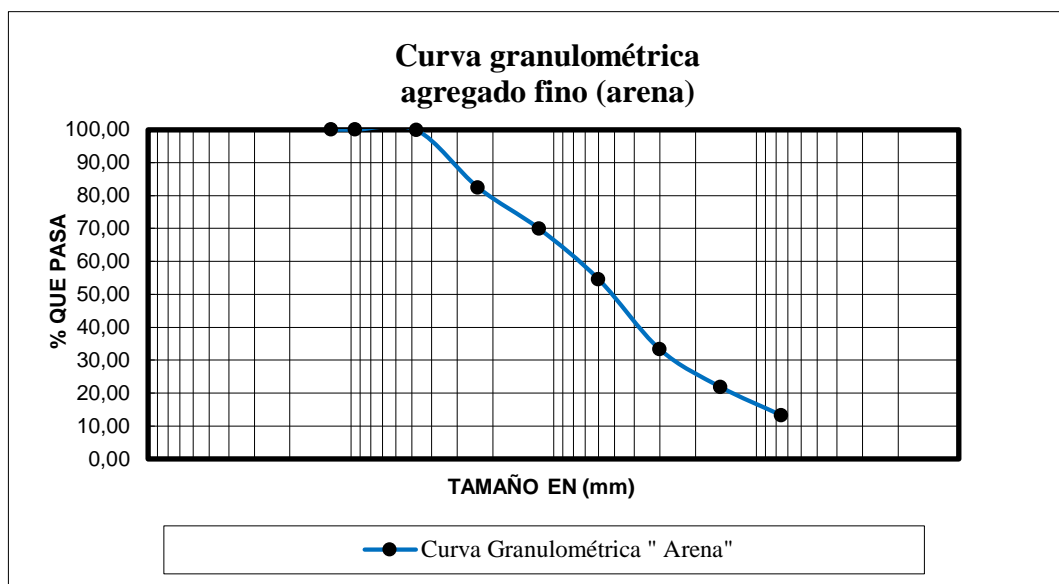
**Figura 3.8:** Curva granulométrica 2 gravilla chancadora Erika

Fuente: Elaboración propia

**Agregado fino (arena)****Tabla 3.10:** Granulometría 2 arena chancadora Erika

Peso total (gr) = 800					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	1,40	1,40	0,18	99,83
Nº8	2,36	139,20	140,60	17,58	82,43
Nº16	1,18	100,00	240,60	30,08	69,93
Nº30	0,60	123,00	363,60	45,45	54,55
Nº40	0,30	169,70	533,30	66,66	33,34
Nº100	0,15	92,00	625,30	78,16	21,84
Nº200	0,075	68,80	694,10	86,76	13,24
Base	-----	8,30	702,40	87,80	12,20
	Suma	702,40			
	Pérdidas	97,60			
	Mf	3,25			

Fuente: Elaboración propia

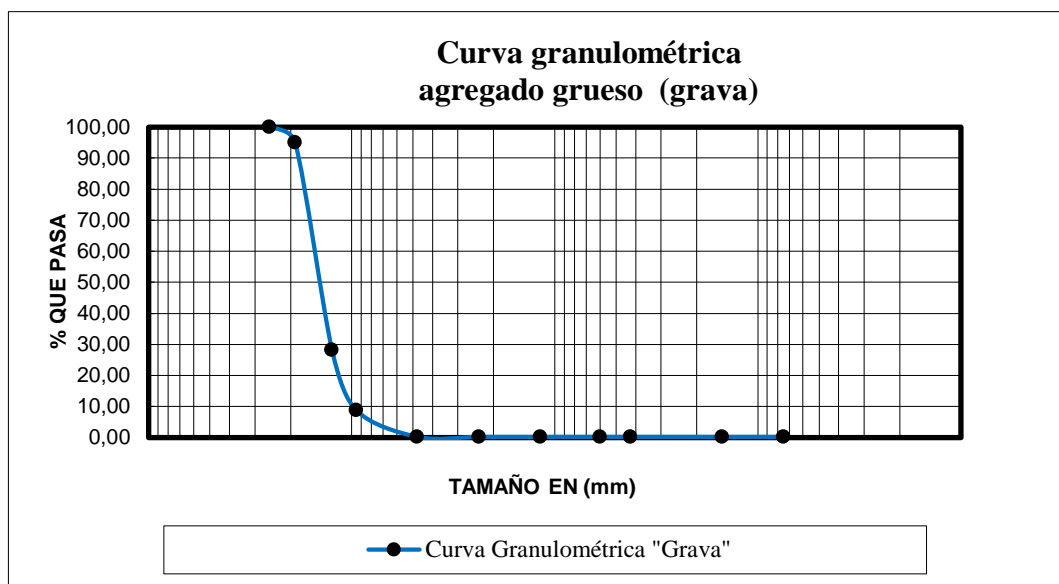
**Figura 3.9:** Curva granulométrica 2 arena chancadora Erika

Fuente: Elaboración propia

**Granulometría 3 chancadora SEDECA****Agregado grueso (grava)****Tabla 3.11:** Granulometría 3 grava chancadora SEDECA

Peso total (gr) = 3000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	150,70	150,70	5,02	94,98
1/2"	12,50	2002,60	2153,30	71,78	28,22
3/8"	9,50	581,90	2735,20	91,17	8,83
Nº4	4,75	257,30	2992,50	99,75	0,25
Nº8	2,36	0,00	2992,50	99,75	0,25
Nº16	1,18	0,00	2992,50	99,75	0,25
Nº30	0,60	0,00	2992,50	99,75	0,25
Nº40	0,43	0,00	2992,50	99,75	0,25
Nº100	0,15	0,00	2992,50	99,75	0,25
Nº200	0,075	0,00	2992,50	99,75	0,25
Base	-----	5,30	2997,80	99,93	0,07
Suma		2997,80			
Pérdidas		2,20			
Mf		7,89			

Fuente: Elaboración propia

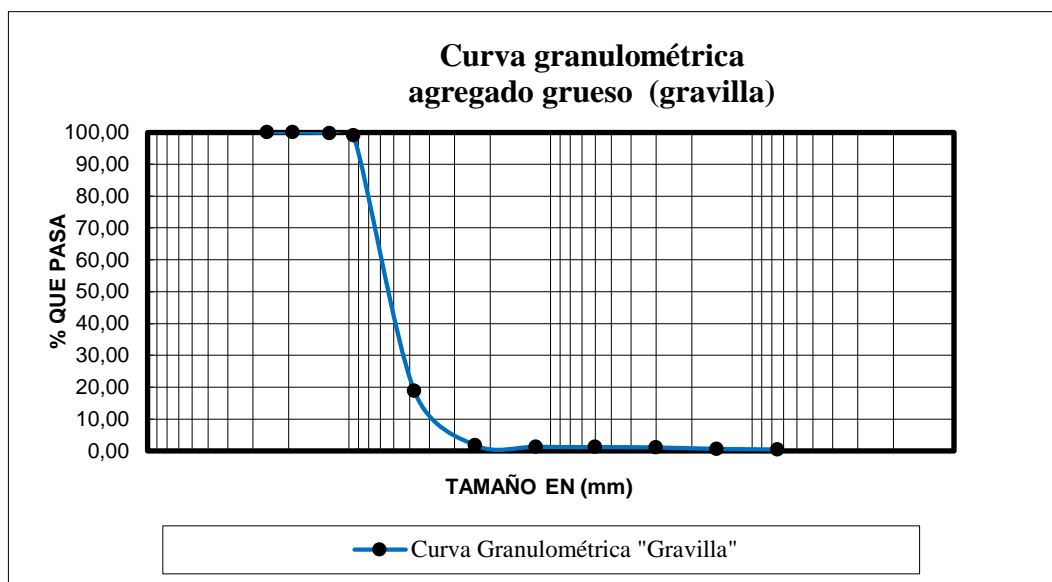
**Figura 3.10:** Curva granulométrica 3 grava chancadora SEDECA

Fuente: Elaboración propia

**Agregado grueso (gravilla)****Tabla 3.12:** Granulometría 3 gravilla chancadora SEDECA

Peso total (gr) = 3000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	7,30	7,30	0,24	99,76
3/8"	9,50	24,20	31,50	1,05	98,95
Nº4	4,75	2403,20	2434,70	81,16	18,84
Nº8	2,36	513,00	2947,70	98,26	1,74
Nº16	1,18	13,30	2961,00	98,70	1,30
Nº30	0,60	2,60	2963,60	98,79	1,21
Nº50	0,30	3,10	2966,70	98,89	1,11
Nº100	0,15	13,70	2980,40	99,35	0,65
Nº200	0,075	5,40	2985,80	99,53	0,47
Base	-----	11,60	2997,40	99,91	0,09
	Suma	2997,40			
	Pérdidas	2,60			
	Mf	6,76			

Fuente: Elaboración propia

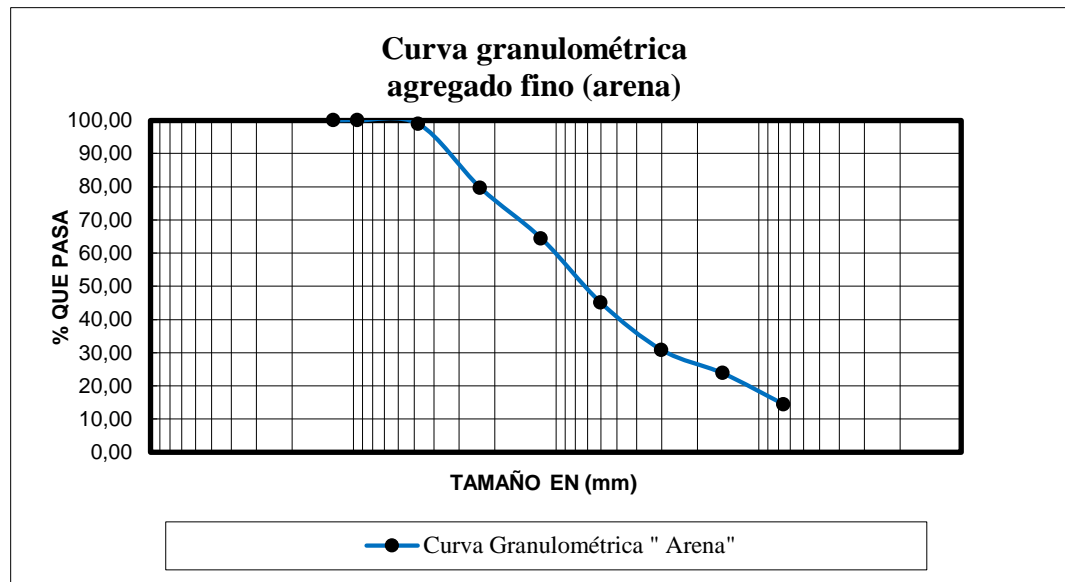
**Figura 3.11:** Curva granulométrica 3 gravilla chancadora SEDECA

Fuente: Elaboración propia

**Agregado fino (arena)****Tabla 3.13:** Granulometría 3 arena chancadora SEDECA

Peso total (gr) = 800					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	9,30	9,30	1,16	98,84
Nº8	2,36	153,30	162,60	20,33	79,68
Nº16	1,18	122,00	284,60	35,58	64,43
Nº30	0,60	155,00	439,60	54,95	45,05
Nº40	0,30	114,00	553,60	69,20	30,80
Nº100	0,15	56,00	609,60	76,20	23,80
Nº200	0,075	74,90	684,50	85,56	14,44
Base	-----	0,90	685,40	85,68	14,33
	Suma	685,40			
	Pérdidas	114,60			
	Mf	3,43			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.12:** Curva granulométrica 3 arena chancadora SEDECA

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2. Densidad aparente (ASTM C-29)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos.

#### Equipo y materiales:

- Balanza
- Varilla pisón
- Cilindro metálico

#### Procedimiento:

##### Determinación de la densidad aparente compactada

Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.

Empareje cada capa y compacte mediante 25 golpes de pisón uniformemente repartidos.

Apisone la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida.

Apisone las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.

Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar.

Determine y registre la masa ( $\text{gr}/\text{m}^3$ ) de áridos compactado que llena la medida.

### Determinación de la densidad aparente suelta

Llene la medida con una pala, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior de la medida.

Desplace la pala o poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.

Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar.

Determine y registre la masa ( $\text{gr}/\text{m}^3$ ) de áridos compactado que llena la medida.

### Densidad aparente grava chancadora Garzón

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.14:** Densidad aparente suelta grava chancadora Garzón

Muestra N°	Peso recipiente	Volumen recipiente	Peso recip. + muestra suelta	Peso muestra suelta	Peso unitario suelta
	(gr)	( $\text{cm}^3$ )	(gr)	(gr)	( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
1	5831,00	9914,00	20120,00	14289,00	1,44
2	5831,00	9914,00	20285,00	14454,00	1,46
3	5831,00	9914,00	20045,00	14214,00	1,43
Promedio					1,44

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.15:** Densidad aparente compactada grava chancadora Garzón

Muestra N°	Peso recipiente	Volumen recipiente	Peso recip. + muestra compactada	Peso muestra compactada	Peso unitario compactada
	(gr)	( $\text{cm}^3$ )	(gr)	(gr)	( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
1	5831,00	9914,00	20710,00	14879,00	1,50
2	5831,00	9914,00	20675,00	14844,00	1,48
3	5831,00	9914,00	20795,00	14964,00	1,51
Promedio					1,502

Fuente: Elaboración propia

### Densidad aparente gravilla chancadora Garzón

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.16:** Densidad aparente suelta gravilla chancadora Garzón

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelta (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	20290,00	14459,00	1,46
2	5831,00	9914,00	20285,00	14454,00	1,46
3	5831,00	9914,00	20050,00	14219,00	1,43
Promedio					1,45

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.17:** Densidad aparente compactada gravilla chancadora Garzón

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	20850,00	15019,00	1,52
2	5831,00	9914,00	20915,00	15084,00	1,52
3	5831,00	9914,00	20870,00	15039,00	1,52
Promedio					1,52

Fuente: Elaboración propia



### Densidad aparente arena chancadora Garzón

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.18:** Densidad aparente suelta arena chancadora Garzón

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelta (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	2600,00	3025,00	7665,00	5065,00	1,67
2	2600,00	3025,00	7695,00	5095,00	1,68
3	2600,00	3025,00	7710,00	5110,00	1,69
Promedio					1,68

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.19:** Densidad aparente compactada arena chancadora Garzón

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	2600,00	3025,00	8000,00	5400,00	1,78
2	2600,00	3025,00	8025,00	5425,00	1,79
3	2600,00	3025,00	8055,00	5455,00	1,80
Promedio					1,79

Fuente: Elaboración propia

Para el ensayo de densidad aparente suelta y compactada de la chancadora Garzón nos dieron como resultados para la grava suelta: 1,44 gr/cm<sup>3</sup>; grava compactada: 1,502 gr/cm<sup>3</sup>; gravilla suelta: 1,45 gr/cm<sup>3</sup>; gravilla: 1,52 gr/cm<sup>3</sup>, arena suelta: 1,68 gr/cm<sup>3</sup>; arena compactada: 1,79 gr/cm<sup>3</sup> todos éstos resultados se encuentran dentro del rango máx. 3,00 gr/cm<sup>3</sup> especificado en la norma ASTM C -29.

### Densidad aparente grava chancadora Erika

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.20:** Densidad aparente suelta grava chancadora Erika

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelta (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	19485,00	13654,00	1,38
2	5831,00	9914,00	19290,00	13459,00	1,36
3	5831,00	9914,00	19330,00	13499,00	1,36
Promedio					1.36

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.21:** Densidad aparente compactada grava chancadora Erika

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	20150,00	14319,00	1,44
2	5831,00	9914,00	20120,00	14289,00	1,44
3	5831,00	9914,00	20080,00	14249,00	1,44
Promedio					1.44

Fuente: Elaboración propia

### Densidad aparente gravilla chancadora Erika

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.22:** Densidad aparente suelta gravilla chancadora Erika

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelta (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	19265,00	13434,00	1,35
2	5831,00	9914,00	19330,00	13499,00	1,36
3	5831,00	9914,00	19355,00	13524,00	1,36
Promedio					1.36

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.23:** Densidad aparente compactada gravilla chancadora Erika

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	19855,00	14024,00	1,41
2	5831,00	9914,00	19950,00	14119,00	1,42
3	5831,00	9914,00	19940,00	14109,00	1,42
Promedio					1.42

Fuente: Elaboración propia

### Densidad aparente arena chancadora Erika

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.24:** Densidad aparente suelta arena chancadora Erika

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelta (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	2600,00	3025,00	7625,00	5025,00	1,66
2	2600,00	3025,00	7620,00	5020,00	1,66
3	2600,00	3025,00	7635,00	5035,00	1,66
Promedio					1.66

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.25:** Densidad aparente compactada arena chancadora Erika

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	2600,00	3025,00	7966,00	5366,00	1,77
2	2600,00	3025,00	7985,00	5385,00	1,78
3	2600,00	3025,00	7981,00	5381,00	1,78
Promedio					1.78

Fuente: Elaboración propia

Para el ensayo de densidad aparente suelta y compactada de la chancadora Erika nos dieron como resultados para la grava suelta: 1,36 gr/cm<sup>3</sup>; grava compactada: 1,44 gr/cm<sup>3</sup>; gravilla suelta: 1,36 gr/cm<sup>3</sup>; gravilla: 1,42 gr/cm<sup>3</sup>, arena suelta: 1,66 gr/cm<sup>3</sup>; arena compactada: 1,78 gr/cm<sup>3</sup> todos éstos resultados se encuentran dentro del rango máx. 3,00 gr/cm<sup>3</sup> especificado en la norma ASTM C -29.

### Densidad aparente grava chancadora SEDECA

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.26:** Densidad aparente suelta grava chancadora SEDECA

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelta (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	19845,00	14014,00	1,41
2	5831,00	9914,00	19920,00	14089,00	1,42
3	5831,00	9914,00	19965,00	14134,00	1,43
Promedio					1.42

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.27:** Densidad aparente compactada grava chancadora SEDECA

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	20370,00	14539,00	1,47
2	5831,00	9914,00	20505,00	14674,00	1,48
3	5831,00	9914,00	20455,00	14624,00	1,47
Promedio					1.47

Fuente: Elaboración propia

### Densidad aparente gravilla chancadora SEDECA

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.28:** Densidad aparente suelta gravilla chancadora SEDECA

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelta (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	19020,00	13189,00	1,33
2	5831,00	9914,00	19025,00	13194,00	1,33
3	5831,00	9914,00	19005,00	13174,00	1,33
Promedio					1.33

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.29:** Densidad aparente compactada gravilla chancadora SEDECA

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	5831,00	9914,00	20305,00	14474,00	1,46
2	5831,00	9914,00	20225,00	14394,00	1,45
3	5831,00	9914,00	20365,00	14534,00	1,47
Promedio					1.46

Fuente: Elaboración propia

### Densidad aparente arena chancadora SEDECA

#### Densidad aparente suelta

**Tabla 3.30:** Densidad aparente suelta arena chancadora SEDECA

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelta (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	2600,00	3025,00	7712,00	5112,00	1,69
2	2600,00	3025,00	7700,00	5100,00	1,69
3	2600,00	3025,00	7724,00	5124,00	1,69
Promedio					1.69

Fuente: Elaboración propia

#### Densidad aparente compactada

**Tabla 3.31:** Densidad aparente compactada arena chancadora SEDECA

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/ cm <sup>3</sup> )
1	2600,00	3025,00	8055,00	5455,00	1,80
2	2600,00	3025,00	8075,00	5475,00	1,81
3	2600,00	3025,00	8063,00	5463,00	1,81
Promedio					1.81

Fuente: Elaboración propia

Para el ensayo de densidad aparente suelta y compactada de la chancadora Erika nos dieron como resultados para la grava suelta: 1,42 gr/cm<sup>3</sup>; grava compactada: 1,47 gr/cm<sup>3</sup>; gravilla suelta: 1,36 gr/cm<sup>3</sup>; gravilla: 1,46 gr/cm<sup>3</sup>, arena suelta: 1,69 gr/cm<sup>3</sup>; arena compactada: 1,81 gr/cm<sup>3</sup> todos éstos resultados se encuentran dentro del rango máx. 3,00 gr/cm<sup>3</sup> especificado en la norma ASTM C -29.

### **3.2.3. 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 N° 4).

#### **Equipo y materiales:**

Balanza

Tamiz N° 4

Canastilla metálica

#### **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 °C – 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 °C - 110 °C, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso.



**Fotografía 3.11:** Vertido del agregado grueso en la canastilla metálica

Fuente. Elaboración propia

### Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora Garzón

**Tabla 3.32:** Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora Garzón

Determinación N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
A = Peso en el aire de la muestra seca (gr)	2940,40	2939,50	2945,10	
B = Peso en el aire muestra saturada-superficie seca (gr)	3000,00	3000,00	3000,00	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	1837,00	1832,00	1838,00	
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	0,00	0,00	0,00	
C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada (gr)	1837,00	1832,00	1838,00	
D = B - C	1163,00	1168,00	1162,00	
E = A - C	1103,40	1107,50	1107,10	
F = B - A	59,60	60,50	54,90	
"G" Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,65	2,66	
"Gb" Peso específico bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,53	2,52	2,53	2,53
"Gb" Peso específico bulk s.s.s (gr/cm <sup>3</sup> )	2,58	2,57	2,58	2,58
Porcentaje de absorción ( % )	2,03	2,06	1,86	1,98

Fuente: Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del agregado grueso} = 2,66 \text{ gr/cm}^3$$

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de absorción del agregado grueso} = 1,98 \%$$

### Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora Erika

**Tabla 3.33:** Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora Erika

Determinación N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
A = Peso en el aire de la muestra seca (gr)	4912,50	4925,00	4922,00		
B = Peso en el aire muestra saturada-superficie seca (gr)	5000,00	5000,00	5000,00		
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	3062,20	3068,90	3062,80		
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	0,00	0,00	0,00		
C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada (gr)	3062,20	3068,90	3062,80		
D = B - C	1937,80	1931,10	1937,20		
E = A - C	1850,30	1856,10	1859,20		
F = B - A	87,50	75,00	78,00		
"G" Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,65	2,65		2,65
"Gb" Peso específico bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,54	2,55	2,54		2,54
"Gb" Peso específico bulk s.s.s (gr/cm <sup>3</sup> )	2,58	2,59	2,58		2,58
Porcentaje de absorción ( % )	1,78	1,52	1,58	1,63	

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del agregado grueso} = 2,65 \text{ gr/cm}^3$$

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de absorción del agregado grueso} = 1,63 \%$$

Éstos resultados se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM D-127 que indica para el peso específico del agregado grueso: 2,35 – 2,75 gr/cm<sup>3</sup>, para la absorción del agregado grueso: 3%.

### Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora SEDECA

**Tabla 3.34:** Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora SEDECA

Determinación N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
A = Peso en el aire de la muestra seca (gr)	4765,00	4658,00	4522,00	
B = Peso en el aire muestra saturada-superficie seca (gr)	4820,00	4709,00	4568,00	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	4476,00	4400,00	4322,00	
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	1496,00	1496,00	1496,00	
C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada (gr)	2980,00	2904,00	2826,00	
D = B - C	1840,00	1805,00	1742,00	
E = A - C	1785,00	1754,00	1696,00	
F = B - A	55,00	51,00	46,00	
"G" Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2,67	2,66	2,67	
"Gb" Peso específico bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,59	2,58	2,60	2,54
"Gb" Peso específico bulk s.s.s (gr/cm <sup>3</sup> )	2,62	2,61	2,62	2,58
Porcentaje de absorción ( % )	1,15	1,09	1,02	1,63

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del agregado grueso} = 2,66 \text{ gr/cm}^3$$

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de absorción del agregado grueso} = 1,09 \%$$

Éstos resultados se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM D-127 que indica para el peso específico del agregado grueso: 2,35 – 2,75 gr/cm<sup>3</sup>, para la absorción del agregado grueso: 3%.

### **3.2.4. 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 período de 24 horas.

#### **Equipo y materiales:**

Balanza

Matraz de 500 ml

Molde cónico y una varilla.

#### **Procedimiento:**

Se debe primeramente homogeneizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior a 4.75 mm (tamiz N° 4), se selecciona, por cuarteo, una cantidad de aproximadamente 1000 gr, que se seca en el horno a 100 °C - 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 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, 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 3.12:** Muestra dentro de matraz de 500 ml



**Fuente:** Elaboración propia

Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 500,0 gr del agregado fino, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 % 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 gr.

### Peso específico y absorción del agregado fino chancadora Garzón

**Tabla 3.35:** Peso específico y absorción de agregado fino chancadora Garzón

Determinación N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
Picnómetro	1	1	1		
Temperatura	25	25	25		
A = Peso en el aire de la muestra seca (gr)	495,10	495,00	494,80		
B = Peso muestra saturada con superficie seca (gr)	500,00	500,00	500,00		
X = Peso del picnómetro + agua + muestra (gr)	997,40	983,10	968,30		
J = Peso del picnómetro + agua (gr)	686,40	672,00	657,60		
E = X - J	311,00	311,00	311,00		
F = B - A	4,90,00	5,00	5,20		
H = A - E	184,00	184,00	184,00		
I = B - E	189,00	189,00	189,00		
"G" Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2,69	2,69	2,69		2,69
"Gb" peso específico bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,62	2,62	2,61		2,62
"Gb" peso específico bulk s.s.s (gr/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,65	2,64		2,64
Porcentaje de absorción (%)	0,99	1,01	1,05	1,02	

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del agregado fino} = 2,69 \text{ gr/cm}^3$$

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de absorción del agregado fino} = 1,02 \%$$

Éstos resultados se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM D-128 que indica para el peso específico del agregado fino: 2,21 – 2,70 gr/cm<sup>3</sup>, para la absorción del agregado grueso: 2%.

### Peso específico y absorción del agregado fino chancadora Erika

**Tabla 3.36:** Peso específico y absorción de agregado fino chancadora Erika

Determinación N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
Picnómetro	1	1	1		
Temperatura	25	25	25		
A = Peso en el aire de la muestra seca (gr)	490,20	490,60	489,70		
B = Peso muestra saturada con superficie seca (gr)	500,00	500,00	500,00		
X = Peso del picnómetro + agua + muestra (gr)	974,20	992,40	960,80		
J = Peso del picnómetro + agua (gr)	666,40	685,00	653,40		
E = X - J	308,00	307,00	307,00		
F = B - A	9,80	9,40	10,30		
H = A - E	182,00	183,00	182,00		
I = B - E	192,00	193,00	193,00		
"G" Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2,69	2,68	2,69		2,68
"Gb" peso específico bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,55	2,55	2,54		2,55
"Gb" peso específico bulk s.s.s (gr/cm <sup>3</sup> )	2,60	2,60	2,60	2,60	
Porcentaje de absorción (%)	2,00	1,92	2,10	2,01	

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del agregado fino} = 2,68 \text{ gr/cm}^3$$

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de absorción del agregado fino} = 2,01 \%$$

Éstos resultados se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM D-128 que indica para el peso específico del agregado fino: 2,21 – 2,70 gr/cm<sup>3</sup>, para la absorción del agregado grueso: 2%.

### Peso Específico y absorción del agregado fino chancadora SEDECA

**Tabla 3.37:** Peso específico y absorción de agregado fino chancadora SEDECA

Determinación N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
Picnómetro	1	1	1		
Temperatura	25	25	25		
A = Peso en el aire de la muestra seca (gr)	495,10	495,00	494,80		
B = Peso muestra saturada con superficie seca (gr)	500,00	500,00	500,00		
X = Peso del picnómetro + agua + muestra (gr)	979,90	979,00	979,20		
J = Peso del picnómetro + agua (gr)	667,90	667,90	667,90		
E = X - J	312,00	311,00	311,00		
F = B - A	4,90	5,00	5,20		
H = A - E	183,00	184,00	184,00		
I = B - E	188,00	189,00	189,00		
"G" Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2,70	2,69	2,70		2,69
"Gb" peso específico bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,63	2,62	2,62		2,62
"Gb" peso específico bulk s.s.s (gr/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,65	2,65		2,64
Porcentaje de absorción (%)	0,99	1,01	1,05	1,02	

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del agregado fino} = 2,69 \text{ gr/cm}^3$$

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de absorción del agregado fino} = 1,02 \%$$

Éstos resultados se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM D-128 que indica para el peso específico del agregado fino: 2,21 – 2,70 gr/cm<sup>3</sup>, para la absorción del agregado grueso: 2%.



### **3.2.5. 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 grava y gravilla triturada por medio de a máquina de los ángeles.

#### **Equipo y materiales:**

Balanza

Tamices (3/4", 1/2", 3/8" y N°12)

Máquina de los ángeles

Esferas de acero de diámetro 46,38 mm y peso 390 gr.

#### **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 realizará será referente a la tabla.

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 (N° 12). La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1,70 mm (N° 12). El material más grueso que el tamiz de 1,70 mm (N° 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 °C a 110 °C (221 a 230 °F), y se pesa con precisión de 1 gr.

**Fotografía 3.13:** Material granular listo para tamizar en el tamiz N°12



Fuente: Elaboración propia

### Porcentaje de desgaste de grava y gravilla triturada chancadora Garzón

**Tabla 3.38:** Desgaste la grava 3/4" chancadora Garzón

Desgaste de la grava 3/4"		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
1 1/2"	1"	-----
1"	3/4"	-----
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
A	5000	3656,4	26,87	40% MAX

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 3.39:** Desgaste de la gravilla 3/8" chancadora Garzón

Desgaste de la gravilla 3/8"		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
C	5000	3742,0	25,16	40% MAX

Fuente. Elaboración propia

Los resultados de la chancadora Garzón para grava 3/4" = 26,87 %, gravilla 3/8" = 25,26% se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM C-131 que indica para el desgaste de grava 3/4", gravilla 3/8", tienen que tener un desgaste máx. de 40%.

### Porcentaje de desgaste de grava y gravilla triturada chancadora Erika

**Tabla 3.40:** Desgaste la grava 3/4" chancadora Erika

Desgaste de la grava 3/4"		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
1 1/2"	1"	-----
1"	3/4"	-----
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
A	5000	3512	29,76	40% MAX

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 3.41:** Desgaste de la gravilla 3/8" chancadora Garzón

Desgaste de la gravilla 3/8"		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
C	5000	3606	27,88	40% MAX

**Fuente.** Elaboración propia

Los resultados de la chancadora Erika para grava 3/4" = 29,76 % , gravilla 3/8" = 27,88 % se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM C-131 que indica para el desgaste de grava 3/4", gravilla 3/8", tienen que tener un desgaste máx. de 40%.

### Porcentaje de desgaste de grava y gravilla triturada chancadora SEDECA

**Tabla 3.42:** Desgaste la grava 3/4" chancadora SEDECA

Desgaste de la grava 3/4 "		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
1 1/2"	1"	-----
1"	3/4"	-----
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
A	5000	3944,3	21,11	40% MAX

**Fuente.** Elaboración propia

**Tabla 3.43:** Desgaste de la gravilla 3/8" chancadora SEDECA

Desgaste de la gravilla 3/8 "		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
C	5000	3956	20,88	40% MAX

**Fuente.** Elaboración propia

Los resultados de la chancadora SEDECA para grava 3/4" = 21,11 %, gravilla 3/8" = 20,88% se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM C-131 que indica para el desgaste de grava 3/4", gravilla 3/8", tienen que tener un desgaste máx. de 40%.

### 3.2.6. Equivalente de la arena (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:

- Probeta graduada
- Tubo flexible
- Pisón de metal
- Recipiente metálico
- Cronómetro o reloj
- Embudo
- Tamiz N°4
- Recipiente para mezcla
- Horno

#### 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 (N° 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 (período 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 3.1:** Observación del ensayo de equivalente de arena y agregado fino



**Fuente:** Elaboración propia

### Porcentaje de arena chancadora Garzón

**Tabla 3.44:** Porcentaje de arena chancadora Garzón

Ensayo	Lecturas			Promedio
Ensayo N°	1	2	3	
Lectura nivel superior	11,60	12,30	12,10	
Lectura nivel inferior	6,70	6,90	6,80	
% de arena	57,76	56,10	56,20	56,80

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

Equivalente de la arena = 55,68 %

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM D-2419 que indica como valor mínimo de 50 % de cantidad de contaminación de limo o arcilla en el agregado fino.

### Porcentaje de arena chancadora Erika

**Tabla 3.45:** Porcentaje de arena chancadora Erika

Ensayo	Lecturas			Promedio
Ensayo N°	1	2	3	
Lectura nivel superior	13,50	13,20	12,80	
Lectura nivel inferior	7,50	7,40	7,10	
% de arena	55,56	56,06	55,47	55,69

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

Equivalente de la arena = 55,69 %

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM D-2419 que indica como valor mínimo de 50 % de cantidad de contaminación de limo o arcilla en el agregado fino.

### Porcentaje de arena chancadora SEDECA

**Tabla 3.46:** Porcentaje de arena chancadora SEDECA

Ensayo	Lecturas			Promedio
Ensayo N°	1	2	3	
Lectura nivel superior	13,90	13,70	14,00	
Lectura nivel inferior	7,50	7,10	7,20	
% de arena	53,96	51,82	51,43	52,40

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Equivalente de la arena} = 52,40 \%$$

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM D-2419 que indica como valor mínimo de 50 % de cantidad de contaminación de limo o arcilla en el agregado fino.

#### **3.2.7. Durabilidad método de los sulfatos (AASHTO T-104)**

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

#### **Equipo y materiales:**

Balanza  
Horno  
Tamices  
Recipientes  
Reactivos

#### **Procedimiento:**

Lavé la muestra de ensayo sobre un tamiz N° 100 y tamiz N° 8.

Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 °C.



Pese los tamaños de muestra requeridos para cada fracción y registre la masa inicial de cada una de ellas.

Ciclos de inmersión y secado.

Sumerja los recipientes con las fracciones de muestra en la solución de sulfato de sodio a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C por un período de  $17 \pm 1$  hr, de modo que los áridos queden cubiertos por una capa de solución superior a 5 cm. Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar contaminaciones.

Retire los recipientes con las fracciones de muestra de la solución, deje escurrir durante  $15 \pm 5$  min. Y seque hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Deje enfriar a temperatura ambiente.

Repita 5 veces el ciclo de inmersión y secado.

Terminado el número de ciclos y una vez enfriada la muestra, lave hasta eliminar totalmente el sulfato.

**Tabla 3.47:** Durabilidad método de sulfatos agregado grueso chancadora Garzón

Agregado grueso									
Granulometría				Peso materiales		Pérdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Material	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)				
1"	1"	3/4"	97,93	754,20	742,00	12,20	12,88	1,62	0,21
3/4"	3/4"	1/2"	85,05	502,00	463,40	38,60	13,61	7,69	1,05
1/2"	1/2"	3/8"	71,44	301,00	287,90	13,10	19,82	4,35	0,86
3/8"	3/8"	N° 4	51,62	300,50	287,40	13,10	12,57	4,36	0,55
N° 4	N° 4	N° 8	39,06	0,00	0,00	0,00	39,06	0,00	0,00
Total % pérdida de peso									2,67
Máximo									12,00

**Fuente:** Elaboración propia

Total pérdida de peso para el agregado grueso = 2,67%

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM C-88 que indica como valor máximo de 12 % de pérdida de peso por desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

**Tabla 3.48:** Durabilidad método de sulfatos agregado fino chancadora Garzón

Agregado fino									
Granulometría				Peso materiales		Pérdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Material	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)				
N° 4	N° 4	N° 8	39,06	100,00	98,60	1,40	39,06	1,40	0,55
N° 8	N° 8	N° 16	33,52	100,00	97,60	2,40	33,52	2,40	0,80
N° 16	N° 16	N° 40	17,24	100,00	97,00	3,00	17,24	3,00	0,52
N° 40	N° 40	N° 100	11,81	100,00	95,40	4,60	11,81	4,60	0,54
Total % pérdida de peso									2,41
Máximo									12
Pérdida total %									5,08

**Fuente:** Elaboración propia

Total pérdida de peso para el agregado fino = 2,41 %

Total pérdida de peso total = 5,08 %

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM C-88 que indica como valor máximo de 12 % de pérdida de peso por desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

**Tabla 3.49:** Durabilidad método de sulfatos agregado grueso chancadora Erika

Agregado grueso									
Granulometría				Peso materiales		Pérdida por diferencia (gr)	% Pasa al Tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Material	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)				
1"	1"	3/4"	99,93	768,20	738,50	29,70	14,09	3,87	0,54
3/4"	3/4"	1/2"	85,83	502,40	453,20	49,20	10,37	9,79	1,02
1/2"	1/2"	3/8"	75,47	300,00	284,00	16,00	23,08	5,33	1,23
3/8"	3/8"	N° 4	52,39	301,70	286,70	15,00	12,26	4,97	0,61
N° 4	N° 4	N° 8	40,12	0,00	0,00	0,00	40,12	0,00	0,00
Total % pérdida de peso									3.40
Máximo									12.00

**Fuente:** Elaboración propia

Total pérdida de peso para el agregado fino = 3,40 %

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM C-88 que indica como valor máximo de 12 % de pérdida de peso por desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

**Tabla 3.50:** Durabilidad método de sulfatos agregado fino chancadora Garzón

Agregado fino									
Granulometría				Peso Materiales		Pérdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Material	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)				
N° 4	N° 4	N° 8	40,12	100,00	98,10	1,90	40,12	1,90	0,76
N° 8	N° 8	N° 16	33,96	100,00	97,20	2,80	33,96	2,80	0,95
N° 16	N° 16	N° 40	16,37	100,00	96,20	3,80	16,37	3,80	0,62
N° 40	N° 40	N° 100	10,82	100,00	94,00	6,00	10,82	6,00	0,65
Total % pérdida de peso									2,98
Máximo									12,00
Pérdida total %									6,39

**Fuente:** Elaboración propia

Total pérdida de peso para el agregado fino = 2,98 %

Total pérdida de peso total = 6,39 %

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM C-88 que indica como valor máximo de 12 % de pérdida de peso por desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

**Tabla 3.51:** Durabilidad método de sulfatos agregado grueso chancadora SEDECA

Agregado grueso									
Granulometría				Peso Materiales		Pérdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Material	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)				
1"	1"	3/4"	98,74	752,20	742,60	9,60	16,75	1,28	0,21
3/4"	3/4"	1/2"	82,00	500,70	476,80	23,90	5,05	4,77	0,24
1/2"	1/2"	3/8"	76,94	300,40	288,00	12,40	22,75	4,13	0,94
3/8"	3/8"	N° 4	54,19	300,00	298,30	1,70	13,86	0,57	0,08
N° 4	N° 4	N° 8	40,34	0,00	0,00	0,00	40,34	0,00	0,00
Total % pérdida de peso									1.47
Máximo									12.00

**Fuente:** Elaboración propia

Total pérdida de peso para el agregado grueso= 1,47 %

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM C-88 que indica como valor máximo de 12 % de pérdida de peso por desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

**Tabla 3.52:** Durabilidad método de sulfatos agregado fino chancadora SEDECA

Agregado fino									
Granulometría				Peso Materiales		Pérdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Material	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)				
N° 4	N° 4	N° 8	40,34	100,00	98,50	1,50	40,34	1,50	0,61
N° 8	N° 8	N° 16	32,60	100,00	98,00	2,00	32,60	2,00	0,65
N° 16	N° 16	N° 40	15,74	100,00	97,60	2,40	15,74	2,40	0,38
N° 40	N° 40	N° 100	12,14	100,00	95,00	5,00	12,14	5,00	0,61
Total % pérdida de peso									2,24
Máximo									12,00
Pérdida total %									3,71

**Fuente:** Elaboración propia

Total pérdida de peso para el agregado fino = 2,24 %

Total pérdida de peso total = 3,71 %

Este resultado se encuentra dentro del rango especificado en la norma ASTM C-88 que indica como valor máximo de 12 % de pérdida de peso por desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

### 3.2.8. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D5821)

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

#### Equipo y materiales:

Balanza  
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 (1 1/2 " 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, Aquéllas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.

**Fotografía 3.14:** Apartado de las partículas fracturas, canto rodado



**Fuente:** Elaboración propia



### Porcentaje de partículas con caras fracturadas chancadora Garzón

**Tabla 3.53:** Porcentaje de partículas con caras fracturadas grava 3/4" chancadora Garzón

Ensayo grava de 3/4"	Lecturas	
Ensayo N°	1	2
a = Peso total (gr)	1000,00	1000,00
b = Peso retenido tamiz N° 8 (gr)	838,70	769,30
a – b = Caras no fracturadas (gr)	161,30	230,70
% Caras fracturadas = (b/a)*100	83,90	76,90

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 80,4 \%$$

**Tabla 3.54:** Porcentaje de partículas con caras fracturadas gravilla 3/8" chancadora Garzón

Ensayo gravilla de 3/8 "	Lecturas	
Ensayo N°	1	2
a = Peso total (gr)	1000,0	1000,0
b = Peso retenido tamiz N° 8 (gr)	749,50	752,00
a – b = Caras no fracturadas (gr)	250,50	248,00
% Caras fracturadas = (b/a)*100	75,00	75,20

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 75,1 \%$$

Los resultados de la chancadora Garzón se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM D-5821-95 que indica para grava 3/4" = 80,4 %, gravilla de 3/8" = 75,1 %, como valor mínimo de 75 % de caras fracturadas.

### Porcentaje de partículas con caras fracturadas chancadora Erika

**Tabla 3.55:** Porcentaje de partículas con caras fracturadas grava 3/4" chancadora Erika

Ensayo grava de 3/4 "	Lecturas	
	1	2
Ensayo N°		
a = Peso total (gr)	1001,60	1000,10
b = Peso retenido tamiz N° 8 (gr)	856,30	844,40
a – b = Caras no fracturadas (gr)	145,30	155,70
% Caras fracturadas = (b/a)*100	85,50	84,40

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 85,00 \%$$

**Tabla 3.56:** Porcentaje de partículas con caras fracturadas gravilla 3/8" chancadora Erika

Ensayo gravilla de 3/8 "	Lecturas	
	1	2
Ensayo N°		
a = Peso total (gr)	1000,00	1000,00
b = Peso retenido tamiz N° 8 (gr)	763,50	755,00
a – b = Caras no fracturadas (gr)	236,50	244,40
% Caras fracturadas = (b/a)*100	76,40	75,60

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 76,00 \%$$

Los resultados de la chancadora Erika se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM D-5821-95 que indica para grava 3/4" = 85,0 %, gravilla de 3/8" = 76,0 %, como valor mínimo de 75 % de caras fracturadas.

### Porcentaje de partículas con caras fracturadas chancadora SEDECA

**Tabla 3.57:** Porcentaje de partículas con caras fracturadas grava 3/4" chancadora SEDECA

Ensayo grava de 3/4 "	Lecturas	
	1	2
Ensayo N°		
a = Peso total (gr)	1089,00	1025,00
b = Peso retenido tamiz N° 8 (gr)	1039,00	982,40
a – b = Caras no fracturadas (gr)	50,00	42,60
% Caras fracturadas = (b/a)*100	95,40	95,80

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 95,6 \%$$

**Tabla 3.58:** Porcentaje de partículas con caras fracturadas gravilla 3/8" chancadora SEDECA

Ensayo gravilla de 3/8 "	Lecturas	
	1	2
Ensayo N°		
a = Peso total (gr)	1052,00	1000,00
b = Peso retenido tamiz N° 8 (gr)	986,50	942,00
a – b = Caras no fracturadas (gr)	65,70	58,00
% Caras fracturadas = (b/a)*100	93,80	94,20

**Fuente.** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 94,0 \%$$

Los resultados de la chancadora SEDECA se encuentran dentro del rango especificado en la norma ASTM D-5821-95 que indica para grava 3/4" = 95,6 %, gravilla de 3/8" = 94,0 % , como valor mínimo de 75 % de caras fracturadas.

### 3.3. 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 ASTM y se presentan en la siguiente tabla. Observándose que todos y cada uno de los ensayos realizados cumplen con los requerimientos.

**Tabla 3.59:** Resultados de los áridos y comparaciones con la norma ASTM

Ensayos	Especificación		Resultado			Norma
	Mín.	Máx.	Garzón	Erika	SEDECA	
Densidad aparente grava suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,440	1,365	1,420	ASTM C-29
Densidad aparente grava compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,502	1,441	1,474	ASTM C-29
Densidad aparente gravilla suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,450	1,360	1,330	ASTM C-29
Densidad aparente gravilla compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,518	1,421	1,459	ASTM C-29
Densidad aparente arena suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,683	1,662	1,690	ASTM C-29
Densidad aparente arena compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,794	1,778	1,806	ASTM C-29
Peso específico de agregado grueso (gr/cm <sup>3</sup> )	2,35	2,75	2,66	2,65	2,66	ASTM D-127
Absorción de agregado grueso (%)	-----	3	1,98	1,63	2,69	ASTM D-127
Peso específico de agregado fino (gr/cm <sup>3</sup> )	2,21	2,70	2,69	2,68	2,64	ASTM D-128
Absorción de agregado Fino (%)	-----	2	1,02	2,01	1,02	ASTM D-128
Abrasión de gruesos 3/4 (%)	-----	40	26,87	29,76	21,11	ASTM C-131
Abrasión de gruesos 3/8 (%)	-----	40	25,16	27,88	20,88	ASTM C-131
Equivalente de la arena (%)	50	-----	56,68	55,69	52,40	ASTM D-2419
Durabilidad método de sulfatos	-	12	5,08	6,39	3,71	ASTM C-88
% de caras fracturadas en grueso 3/4"	75	-----	80,4	85,0	95,6	ASTM D 5821-95
% de caras fracturadas en grueso 3/8"	75	-----	75,1	76,0	94,0	ASTM D 5821-95

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.4. Ensayo del ligante asfáltico**

La caracterización del ligante 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.

#### **3.4.1. Peso específico (ASTM D-70)**

##### **Equipo y materiales:**

Picnómetro.

Baño de agua.

Termómetro.

Recipiente de vidrio boca ancha de 600ml.

Balanza A  $\pm$  0.1gr.

Agua destilada.

Asfalto.

##### **Procedimiento**

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 gr. 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 gr.

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.

**Fotografía 3.15:** Recipiente en baño maría con los picnómetros más muestra de asfalto



**Fuente:** Elaboración propia

Peso Específico AASHTO T-227		1	2	3
Peso Picnómetro	gr	33,60	33,90	32,70
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr	80,90	80,30	77,50
Peso Picnómetro + Muestra	gr	63,10	62,70	60,80
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	81,12	80,50	77,80
Peso Específico	gr/cm <sup>3</sup>	1,01	1,01	1,01

**Tabla 3.60:** Peso específico del cemento asfáltico

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Peso específico del cemento asfáltico } 85-100 = 1,01 \text{ gr/cm}^3$$

El valor del peso específico del cemento asfáltico se encuentra dentro del rango especificado: 1 – 1,05 gr/cm<sup>3</sup> de la norma ASTM D-70.

### **3.4.2. Punto de inflamación (ASTM D-92).**

El punto de inflamación de un cemento 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 cemento 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 y materiales:**

Aparato de copa abierta Cleveland

Termómetro

Asfalto

#### **Procedimiento:**

Llenar la copa a cualquier temperatura que no exceda de 100°C (180°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 °C (25 a 30 °F) por minuto. Después de su punto de aplicación se empieza a aplicar la llama de ensayo, una vez por cada aumento de 2 °C (5 °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 3.16:** Calentado la muestra para el punto de inflamación

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.61:** Punto de inflamación del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	1	2	3
Punto de Inflamación	°C	>298	>300	>292

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

$$\text{Punto de inflamación del cemento asfáltico } 85-100 = 297 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El valor de punto de inflamación del cemento asfáltico se encuentra dentro del rango especificado: mínimo 232 °C de la norma ASTM D-1310-01.



### 3.4.3. 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 y materiales:**

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 gr 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 °C 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 3.17:** Penetración de la muestra



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.62:** Penetración del cemento asfáltico

Penetración a 25°C 100s. 5seg. ( 0.1mm)	<b>Lectura N°1</b>	mm.	90	89	89
	<b>Lectura N°2</b>	mm.	91	85	89
	<b>Lectura N°3</b>	mm.	89	89	88
	<b>Promedio</b>	mm.	90	88	89

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

Penetración del cemento asfáltico 85-100 = 89 mm.

El valor de penetración del cemento asfáltico se encuentra dentro del rango especificado: 85 -100 de la norma ASTM D-5.

#### **3.4.4. 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 °C a 157 °C (86 a 315 °F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30 °C 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 glicericina.

##### **Equipo y materiales:**

Anillo de bronce

Bolas de acero con un diametro de 9,5 mm y que pesen entre  $3,5 \pm 0,050$  gr.

Una guía para centrar la bola, contruida de bronce

Baño

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 período 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.

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 3.18:** Punto de ablandamiento anillo y bola

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.63:** Punto de ablandamiento del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	1	2	3
Punto de ablandamiento	°C	45,00	46,00	46,00

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

El punto de ablandamiento del cemento asfáltico 85-100 = 45,67 °C

**Tabla 3.64:** Residuo de la película delgada del cemento asfáltico

Ensayos sobre el residuo de la película delgada				
Pérdida en masa	%	0,36	0,52	0,460
Penetración del residuo, penetración original	%	60,00	62,00	62,00

**Fuente:** Elaboración propia

Realizando un promedio aritmético:

Pérdida de masa del cemento asfáltico 85-100 = 0,45 %

**Realizando un promedio aritmético:**

Penetración del residuo, penetración del cemento asfáltico 85-100 = 61,33 %

### 3.5. 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 ASTM del distribuidor, valores se encuentran en la siguiente tabla.

**Tabla 3.65:** Resultados y comparaciones del cemento asfáltico

Ensayos	85-100		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	1	1,05	1,005	ASTM D-70
Penetración muestra original (25 °C, 100gr, 5s) mm/10	85	100	89	ASTM D-5
Punto de inflamación, copa Cleveland °C	232	-----	297	ASTM D-1310-01
Punto de ablandamiento °C	42	53	45,67	ASTM D-36
Pérdida de masa (%)	-----	1	0,45	ASTM D-2872

**Fuente:** Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN DEL MÉTODO DE TRACCIÓN INDIRECTA

#### 4. DISEÑO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE CONTROL DE ADHERENCIA ENTRE EL CEMENTO ASFÁLTICO Y AGREGADO TRITURADO

Para estudiar adherencia de las mezclas asfálticas calientes entre el cemento asfáltico y agregado triturado se fabricará briquetas en el laboratorio de la Universidad Juan Misael Saracho, y analizar sus propiedades de fluencia y estabilidad a través del diseño Marshall y de tracción indirecta. Para los ensayos de caracterización de los agregados y cemento asfáltico se tomará 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 1 diseño para cada banco de material para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto a través de las curvas generadas del diseño Marshall, con éstos porcentajes óptimos de asfalto tendremos la dosificación adecuada para cada diseño en estudio de la adherencia entre el cemento asfáltico y agregado triturado, fabricando con esta dosificación briquetas para su respectivo análisis.

##### **4.1. Diseño Marshall 1 chancadora Garzón**

Se procedió a realizar el diseño Marshall 1 con el cemento asfáltico y árido previamente caracterizado.

##### **4.1.1. Mezcla de los agregados**

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

Agregado de 3/4" = 20 %

Agregado de 3/8" = 30 %

Arena = 50 %

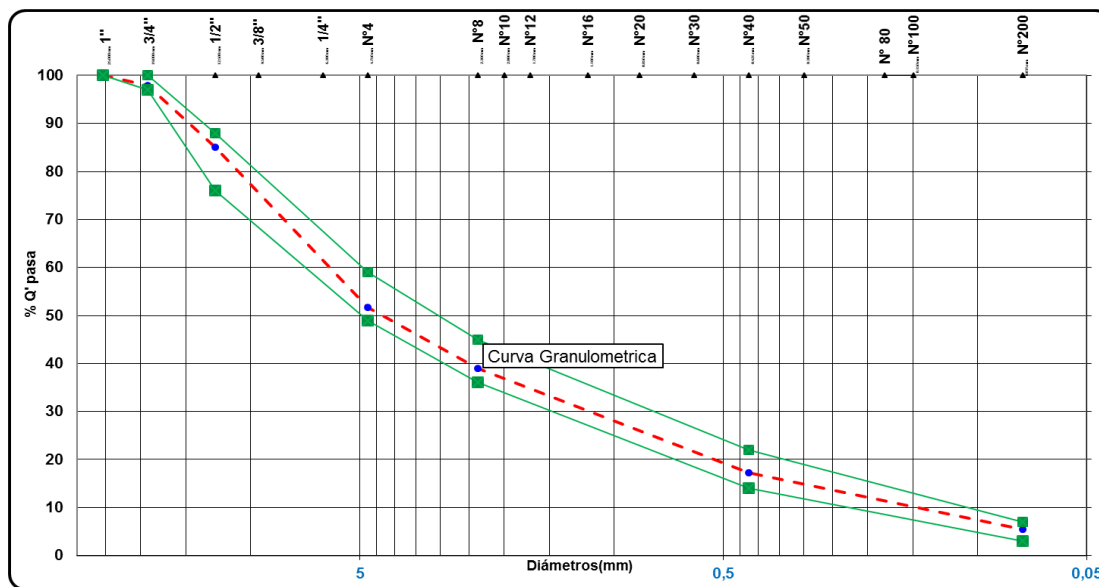
En la siguiente tabla se muestra la granulometría y las proporciones de los agregados a utilizarse, además de su respectiva faja de trabajo.

**Tabla 4.1:** Porcentajes de la granulometría para el diseño 1 chancadora Garzón

AGREGADO		Grava		Gravilla		Arena		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA		
% USADO		20%		30%		50%			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	20,0	100,0	30,0	100,0	50,0	100,0	100	100	0%	100	100	
3/4"	19,10	89,7	17,9	100,0	30,0	100,0	50,0	97,9	97	100	0%	97	100	
1/2"	12,50	29,1	5,8	97,4	29,2	100,0	50,0	85,1	80	90	5%	76	88	
3/8"	9,50	8,9	1,8	65,6	19,7	100,0	50,0	71,4	0	0	0%	0	0	
#4	4,75	4,4	0,9	11,5	3,4	94,6	47,3	51,6	45	59	7%	49	59	
#8	2,360	1,5	0,3	4,0	1,2	75,1	37,6	39,1	34	44	5%	36	45	
#16	1,180	1,5	0,3	3,2	1,0	64,5	32,3	33,5	0	0		0	0	
#40	0,425	1,5	0,3	2,8	0,8	32,2	16,1	17,2	14	20	3%	14	22	
#100	0,180	1,5	0,3	2,7	0,8	21,4	10,7	11,8	0	0	0%	0	0	
#200	0,075	1,5	0,3	2,7	0,8	8,8	4,4	5,5	4	8	2%	3	7	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.1:** Curva granulométrica del diseño 1 chancadora Garzón



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. 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 de la tabla.

## Porcentaje de cemento asfáltico 4,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	4,50%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	97,93	2,07	2,07	23,69	23,69
1/2"	85,05	14,95	12,88	147,60	171,29
3/8"	71,44	28,56	13,61	155,97	327,26
Nº4	51,62	48,38	19,82	227,16	554,43
Nº10	39,06	60,94	12,57	144,00	698,43
Nº16	33,52	66,48	5,54	63,44	761,87
Nº40	17,24	82,76	16,28	186,55	948,42
Nº80	11,81	88,19	5,43	62,27	1010,69
Nº200	5,51	94,49	6,30	72,15	1082,84
Filler	0,00	100,00	5,51	63,16	1146,00
Peso total =				1146,00	

Peso muestra=	1146,00 gr.
Peso asfalto=	54,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

## Porcentaje de cemento asfáltico 5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	5,0%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	97,93	2,07	2,07	23,57	23,57
1/2"	85,05	14,95	12,88	146,83	170,40
3/8"	71,44	28,56	13,61	155,15	325,55
Nº4	51,62	48,38	19,82	225,98	551,53
Nº10	39,06	60,94	12,57	143,25	694,77
Nº16	33,52	66,48	5,54	63,11	757,88
Nº40	17,24	82,76	16,28	185,58	943,46
Nº80	11,81	88,19	5,43	61,94	1005,40
Nº200	5,51	94,49	6,30	71,77	1077,17
Filler	0,00	100,00	5,51	62,83	1140,00
Peso total =				1140,00	

Peso muestra=	1140,00 gr.
Peso asfalto=	60,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.



Porcentaje de cemento asfáltico 5,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	5,5%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	97,93	2,07	2,07	23,44	23,44
1/2"	85,05	14,95	12,88	146,06	169,50
3/8"	71,44	28,56	13,61	154,34	323,84
Nº4	51,62	48,38	19,82	224,79	548,62
Nº10	39,06	60,94	12,57	142,49	691,11
Nº16	33,52	66,48	5,54	62,78	753,89
Nº40	17,24	82,76	16,28	184,60	938,49
Nº80	11,81	88,19	5,43	61,61	1000,10
Nº200	5,51	94,49	6,30	71,40	1071,50
Filler	0,00	100,00	5,51	62,50	1134,00
Peso Total =				1134,00	

Peso muestra=	1134,00 gr.
Peso asfalto=	66,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

Porcentaje de cemento asfáltico 6%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	6,0%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	97,93	2,07	2,07	23,32	23,32
1/2"	85,05	14,95	12,88	145,28	168,60
3/8"	71,44	28,56	13,61	153,52	322,12
Nº4	51,62	48,38	19,82	223,60	545,72
Nº10	39,06	60,94	12,57	141,74	687,46
Nº16	33,52	66,48	5,54	62,44	749,90
Nº40	17,24	82,76	16,28	183,62	933,53
Nº80	11,81	88,19	5,43	61,29	994,81
Nº200	5,51	94,49	6,30	71,02	1065,83
Filler	0,00	100,00	5,51	62,17	1128,00
Peso Total=				1128,00	

Peso muestra=	1128,00 gr.
Peso asfalto=	72,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

Porcentaje de cemento asfáltico 6,5%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	97,93	2,07	2,07	23,20	23,20
1/2"	85,05	14,95	12,88	144,51	167,71
3/8"	71,44	28,56	13,61	152,70	320,41
Nº4	51,62	48,38	19,82	222,41	542,82
Nº10	39,06	60,94	12,57	140,98	683,80
Nº16	33,52	66,48	5,54	62,11	745,91
Nº40	17,24	82,76	16,28	182,65	928,56
Nº80	11,81	88,19	5,43	60,96	989,52
Nº200	5,51	94,49	6,30	70,64	1060,16
Filler	0,00	100,00	5,51	61,84	1122,00
Peso Total=				1122,00	

Peso muestra=	1122,00 gr.
Peso asfalto=	78,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 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 chancadora Erika

Se procedió a realizar el diseño Marshall 2 con el cemento asfáltico y árido previamente caracterizado.

##### 4.2.1. Mezcla de los agregados

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

Agregado de 3/4" = 32%

Agregado de 3/8" = 20%

Arena = 48%

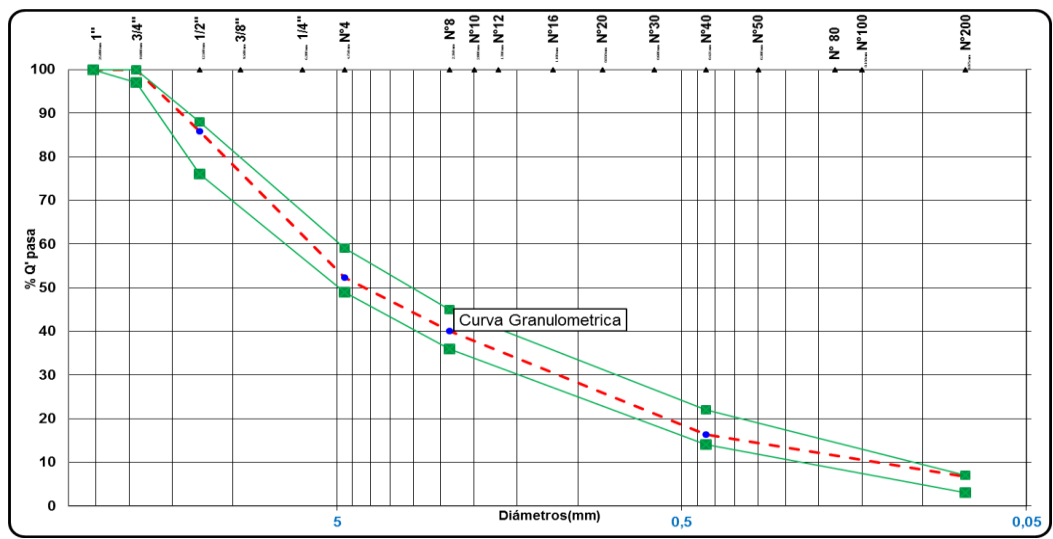
En la siguiente tabla se muestra la granulometría y las proporciones de los agregados a utilizarse, además de su respectiva faja de trabajo.

**Tabla 4.2:** Porcentajes de la granulometría para el diseño 2 chancadora Erika

AGREGADO		Grava-Erika		Gravilla-Erika		Arena-Erika		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA		
% USADO		32%		20%		48%			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	32,0	100,0	20,0	100,0	48,0	100,0	100	100	0%	100	100	
3/4"	19,10	99,8	31,9	100,0	20,0	100,0	48,0	99,9	97	100	0%	97	100	
1/2"	12,50	55,9	17,9	99,7	19,9	100,0	48,0	85,8	81	91	5%	76	88	
3/8"	9,50	25,4	8,1	96,6	19,3	100,0	48,0	75,5						
#4	4,75	0,6	0,2	21,4	4,3	99,8	47,9	52,4	45	59	7%	49	59	
#8	2,360	0,6	0,2	1,8	0,4	82,4	39,6	40,1	35	45	5%	36	45	
#16	1,180	0,6	0,2	1,0	0,2	69,9	33,6	34,0						
#40	0,425	0,6	0,2	1,0	0,2	33,3	16,0	16,4	13	19	3%	14	22	
#100	0,180	0,6	0,2	0,8	0,2	21,8	10,5	10,8						
#200	0,075	0,6	0,2	0,7	0,1	13,2	6,3	6,7	5	9	2%	3	7	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.2:** Curva granulométrica del diseño 2 chancadora Erika



Fuente: Elaboración propia

**4.2.2. 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
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	99,93	0,17	0,07	0,86	0,86
1/2"	85,83	14,17	14,09	161,49	162,35
3/8"	75,47	24,53	10,37	118,82	281,17
Nº4	52,39	47,61	23,08	264,47	545,64
Nº10	40,12	59,88	12,26	140,54	686,18
Nº16	34,96	66,04	6,16	70,60	756,78
Nº40	16,37	83,63	17,59	201,63	958,41
Nº80	10,82	89,18	5,55	63,61	1022,02
Nº200	6,67	93,33	4,15	47,54	1069,56
Filler	0,00	100,00	6,67	76,44	1146,00
Peso total =				1146,00	

Peso muestra=	1146,00 gr.
Peso asfalto=	54,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

## Porcentaje de cemento asfáltico 5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	5,0%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	99,93	0,17	0,07	0,85	0,85
1/2"	85,83	14,17	14,09	160,65	161,50
3/8"	75,47	24,53	10,37	118,19	279,69
Nº4	52,39	47,61	23,08	263,09	542,78
Nº10	40,12	59,88	12,26	139,80	682,58
Nº16	34,96	66,04	6,16	70,23	752,82
Nº40	16,37	83,63	17,59	200,58	953,40
Nº80	10,82	89,18	5,55	63,28	1016,67
Nº200	6,67	93,33	4,15	47,29	1064,096
Filler	0,00	100,00	6,67	76,04	1140,00
Peso total =				1140,00	

Peso muestra=	1140,00 gr.
Peso asfalto=	60,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

## Porcentaje de cemento asfáltico 5,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	5,5%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	99,93	0,17	0,07	0,85	0,85
1/2"	85,83	14,17	14,09	159,80	160,65
3/8"	75,47	24,53	10,37	117,57	278,22
Nº4	52,39	47,61	23,08	261,70	539,93
Nº10	40,12	59,88	12,26	139,07	678,99
Nº16	34,96	66,04	6,16	69,86	748,85
Nº40	16,37	83,63	17,59	199,52	948,85
Nº80	10,82	89,18	5,55	62,94	1011,32
Nº200	6,67	93,33	4,15	47,04	1058,36
Filler	0,00	100,00	6,67	75,64	1134,00
Peso total=				1134,00	

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
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	99,93	0,17	0,07	0,84	0,85
1/2"	85,83	14,17	14,09	159,96	159,80
3/8"	75,47	24,53	10,37	116,95	276,75
Nº4	52,39	47,61	23,08	260,32	537,07
Nº10	40,12	59,88	12,26	138,33	675,40
Nº16	34,96	66,04	6,16	69,49	744,89
Nº40	16,37	83,63	17,59	198,47	943,36
Nº80	10,82	89,18	5,55	62,61	1005,97
Nº200	6,67	93,33	4,15	46,79	1052,76
Filler	0,00	100,00	6,67	75,24	1128,00
Peso Total=				1128,00	

Peso Muestra=	1128,00 gr.
Peso Asfalto=	72,00 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,00 gr.

Porcentaje de cemento asfáltico 6,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	6,5%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	99,93	0,17	0,07	0,84	0,84
1/2"	85,83	14,17	14,09	158,11	158,95
3/8"	75,47	24,53	10,37	116,33	275,28
Nº4	52,39	47,61	23,08	258,94	534,21
Nº10	40,12	59,88	12,26	137,59	671,81
Nº16	34,96	66,04	6,16	69,12	740,93
Nº40	16,37	83,63	17,59	197,41	938,34
Nº80	10,82	89,18	5,55	62,28	1000,62
Nº200	6,67	93,33	4,15	46,54	1047,16
Filler	0,00	100,00	6,67	74,84	1122,00
Peso total=				1122,00	

Peso muestra=	1122,00 gr.
Peso asfalto=	78,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 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 2 de la mezcla asfáltica en estudio.

### 4.3. Diseño Marshall 3 chancadora SEDECA

Se procedió a realizar el diseño Marshall 3 con el cemento asfáltico y árido previamente caracterizado.

#### 4.3.1. Mezcla de los agregados

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

Agregado de 3/4" =25%

Agregado de 3/8"= 25%

Arena= 50%

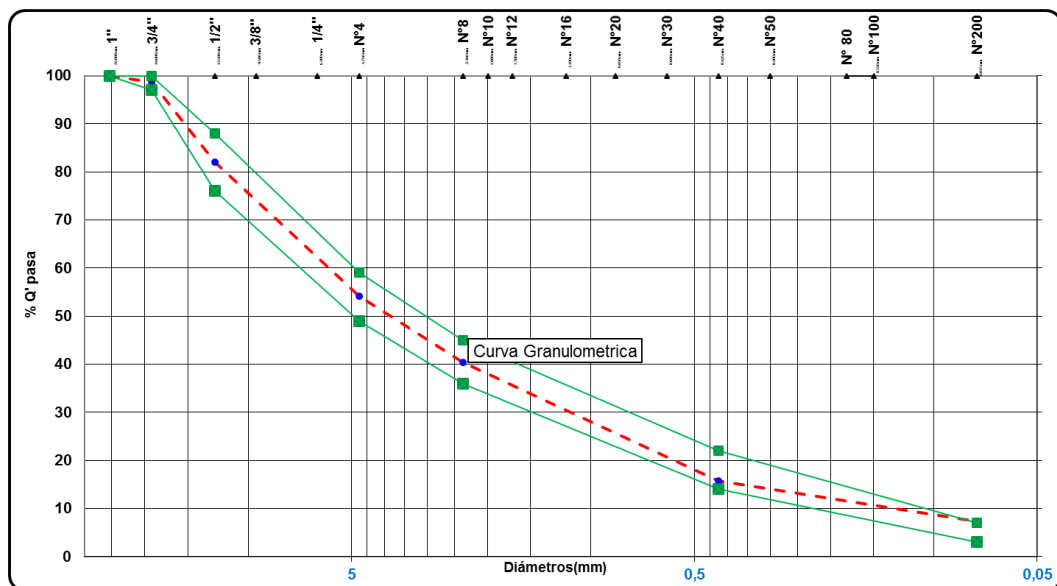
En la siguiente tabla se muestra la granulometría y las proporciones de los agregados a utilizarse, además de su respectiva faja de trabajo.

**Tabla 4.3:** Porcentajes de la granulometría para el diseño 3 chancadora SEDECA

AGREGADO		Grava		Gravilla		Arena		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA		
% USADO		25%		25%		50%			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	25,0	100,0	25,0	100,0	50,0	100,0	100	100	□%	100	100	
3/4"	19,10	95,0	23,7	100,0	25,0	100,0	50,0	98,7	97	100	□%	97	100	
1/2"	12,50	28,2	7,1	99,8	24,9	100,0	50,0	82,0	77	87	5%	76	88	
3/8"	9,50	8,8	2,2	99,0	24,7	100,0	50,0	76,9						
#4	4,75	0,3	0,1	18,8	4,7	98,8	49,4	54,2	47	61	7%	49	59	
#8	2,360	0,3	0,1	1,7	0,4	79,7	39,8	40,3	35	45	5%	36	45	
#16	1,180	0,3	0,1	1,3	0,3	64,4	32,2	32,6						
#40	0,425	0,3	0,1	1,1	0,3	30,8	15,4	15,7	13	19	3%	14	22	
#100	0,180	0,3	0,1	0,7	0,2	23,8	11,9	12,1						
#200	0,075	0,3	0,1	0,5	0,1	14,4	7,2	7,4	5	9	2%	3	7	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.3:** Curva granulométrica del diseño 3 chancadora SEDECA



Fuente: Elaboración 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
				0,00	0,0
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,0
3/4"	98,74	1,26	1,26	14,39	14,39
1/2"	82,00	18,01	16,75	191,95	206,34
3/8"	76,94	23,06	5,05	57,88	264,22
Nº4	54,19	45,81	22,75	260,74	524,96
Nº10	40,34	59,66	13,86	158,79	683,75
Nº16	32,60	67,40	7,74	88,65	772,40
Nº40	15,74	84,26	16,86	193,24	965,65
Nº80	12,14	87,86	3,60	41,26	1006,90
Nº200	7,40	92,60	4,74	54,29	1061,20
Filler	0,00	100,00	7,40	84,80	1146,00
Peso total=				1146,00	

Peso muestra=	1146,00 gr.
Peso asfalto=	54,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

## Porcentaje de cemento asfáltico 5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	5,0%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	98,74	1,26	1,26	14,32	14,32
1/2"	82,00	18,01	16,75	190,94	205,26
3/8"	76,94	23,06	5,05	57,58	262,84
Nº4	54,19	45,81	22,75	259,37	522,21
Nº10	40,34	59,66	13,86	157,96	680,17
Nº16	32,60	67,40	7,74	88,19	768,36
Nº40	15,74	84,26	16,86	192,23	960,59
Nº80	12,14	87,86	3,60	41,04	1001,63
Nº200	7,40	92,60	4,74	54,01	1055,64
Filler	0,00	100,00	7,40	84,36	1140,00
Peso total=				1140,00	

Peso muestra=	1140,00 gr.
Peso asfalto=	60,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.



## Porcentaje de cemento asfáltico 5,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	5,5%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	98,74	1,26	1,26	14,24	14,24
1/2"	82,00	18,01	16,75	189,94	204,18
3/8"	76,94	23,06	5,05	57,28	261,45
Nº4	54,19	45,81	22,75	258,01	519,46
Nº10	40,34	59,66	13,86	157,13	676,59
Nº16	32,60	67,40	7,74	87,72	764,32
Nº40	15,74	84,26	16,86	191,22	955,54
Nº80	12,14	87,86	3,60	40,82	996,36
Nº200	7,40	92,60	4,74	53,72	1050,08
Filler	0,00	100,00	7,40	83,92	1134,00
Peso total=				1134,00	

Peso muestra=	1134,00 gr.
Peso asfalto=	66,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

## Porcentaje de cemento asfáltico 6%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	6,0%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	98,74	1,26	1,26	14,17	14,17
1/2"	82,00	18,01	16,75	188,93	203,10
3/8"	76,94	23,06	5,05	56,97	260,07
Nº4	54,19	45,81	22,75	256,64	516,71
Nº10	40,34	59,66	13,86	156,30	673,01
Nº16	32,60	67,40	7,74	87,26	760,27
Nº40	15,74	84,26	16,86	190,21	950,48
Nº80	12,14	87,86	3,60	40,61	991,09
Nº200	7,40	92,60	4,74	53,44	1044,53
Filler	0,00	100,00	7,40	83,47	1128,00
Peso total=				1128,00	

Peso muestra=	1128,00 gr.
Peso asfalto=	72,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

Porcentaje de cemento asfáltico 6,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	6,5%	
				P. parcial	P. acumulado
				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	98,74	1,26	1,26	14,09	14,09
1/2"	82,00	18,01	16,75	187,93	202,02
3/8"	76,94	23,06	5,05	56,67	258,69
Nº4	54,19	45,81	22,75	255,28	513,96
Nº10	40,34	59,66	13,86	155,47	669,43
Nº16	32,60	67,40	7,74	86,80	756,23
Nº40	15,74	84,26	16,86	189,20	945,43
Nº80	12,14	87,86	3,60	40,39	985,82
Nº200	7,40	92,60	4,74	53,15	1038,97
Filler	0,00	100,00	7,40	83,03	1122,00
Peso total=				1122,00	

Peso muestra=	1122,00 gr.
Peso asfalto=	78,00 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 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 y materiales:

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza
- Bandejas metálicas.
- Termómetro
- Medidor de la estabilidad.

## **Procedimiento**

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 °C 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 °C a 140 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 105 °C 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 °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 101,6 mm 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 matillo 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 briketa en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas. El molde, conteniendo la briketa se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briketa 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

#### **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 4.3:** Briquetas en baño maría a temperatura de 25 °C



**Fuente.** Elaboración propia

**Fotografía 4.4:** Briquetas en baño maría a temperatura de 60 °C



**Fuente.** Elaboración propia

## Tabla de diseño Marshall 1 chancadora Garzón

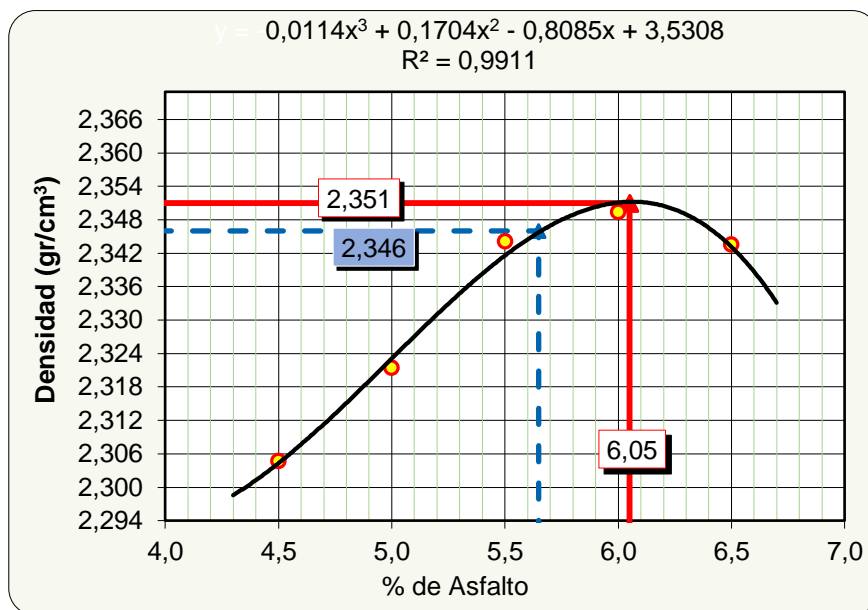
**Tabla 4.4:** Planilla de diseño Marshall 1 chancadora Garzón

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			% Vacíos			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA		
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL ( Dr. )	PROMEDIO ( Drm. )	MAXIMA TEORICA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION ( ALTURA )					MEDIA f.c.	CORREGIDA
																	mm	mm					
1	6,59	4,71	<b>4,50</b>	1188,3	1194,1	678,0	516,1	2,302					1002	2209,0		0,945			11	10,5			
2	6,57	4,71	<b>4,50</b>	1189,9	1190,2	673,8	516,4	2,304					986	2173,7		0,949			10	10,4			
3	6,58	4,71	<b>4,50</b>	1188,6	1191,3	676,2	515,1	2,308	<b>2,305</b>	2,489	<b>7,41</b>	17,73	58,20	1025	2259,7	2214,2	0,947	0,947	2096,8	11	11,0	10,63	
4	6,52	5,26	<b>5,00</b>	1193,7	1198,0	684,5	513,5	2,325						1176	2592,6		0,958			13	12,5		
5	6,62	5,26	<b>5,00</b>	1189,9	1194,9	682,3	512,6	2,321						1189	2621,3		0,939			13	13,0		
6	6,59	5,26	<b>5,00</b>	1190,2	1195,9	682,5	513,4	2,318	<b>2,321</b>	2,470	<b>6,02</b>	17,57	65,73	1196	2636,7	2616,9	0,945	0,948	2480,8	13	12,6	12,70	
7	6,47	5,82	<b>5,50</b>	1188,6	1192,1	686,2	505,9	2,349						1200	2645,5		0,970			13	13,0		
8	6,45	5,82	<b>5,50</b>	1192,3	1194,4	684,8	509,6	2,340						1273	2806,5		0,975			14	13,5		
9	6,48	5,82	<b>5,50</b>	1187,8	1189,9	683,0	506,9	2,343	<b>2,344</b>	2,451	<b>4,37</b>	17,20	74,58	1232	2716,1	2722,7	0,968	0,971	2643,7	14	13,7	13,40	
10	6,34	6,38	<b>6,00</b>	1184,8	1185,3	681,4	503,9	2,351						1096	2416,2		1,003			15	15,2		
11	6,52	6,38	<b>6,00</b>	1202,1	1203,8	691,4	512,4	2,346						1071	2361,1		0,958			14	14,2		
12	6,41	6,38	<b>6,00</b>	1188,6	1191,5	685,9	505,6	2,351	<b>2,349</b>	2,433	<b>3,43</b>	17,45	80,36	1132	2495,6	2424,3	0,985	0,982	2380,7	15	14,6	14,67	
13	6,44	6,95	<b>6,50</b>	1189,5	1191,2	683,3	507,9	2,342						952	2098,8		0,978			16	15,6		
14	6,40	6,95	<b>6,50</b>	1191,1	1192,5	683,7	508,8	2,341						900	1984,1		0,988			16	16,0		
15	6,42	6,95	<b>6,50</b>	1190,3	1192,0	685,0	507,0	2,348	<b>2,344</b>	2,415	<b>2,94</b>	18,10	83,76	974	2147,3	2076,7	0,983	0,983	2041,4	17	16,8	16,13	

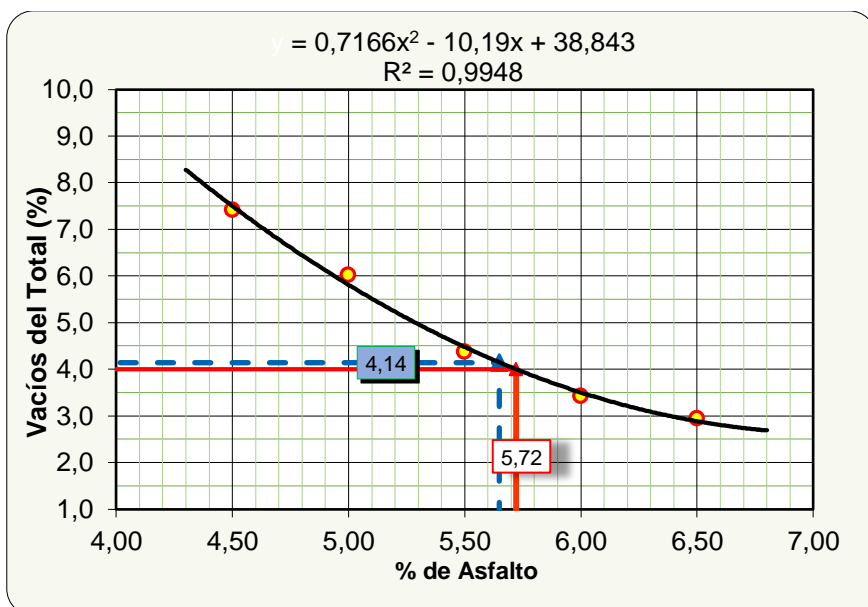
Fuente: Elaboración propia

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

Porcentaje de asfalto vs densidad de la probeta

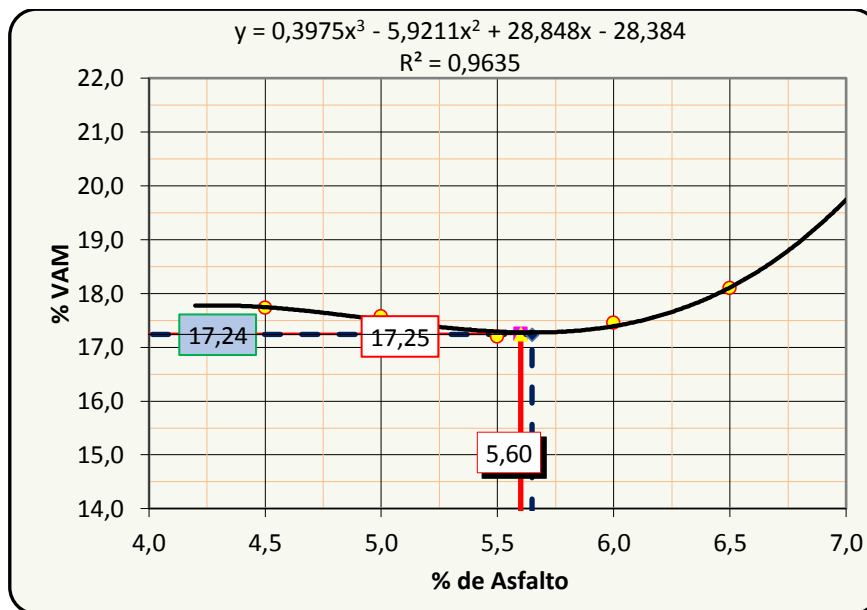


Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total

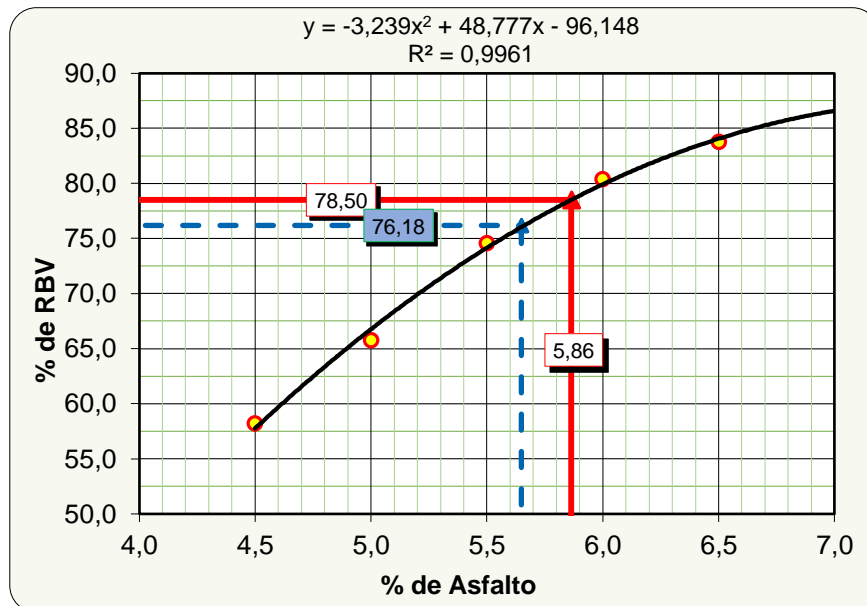




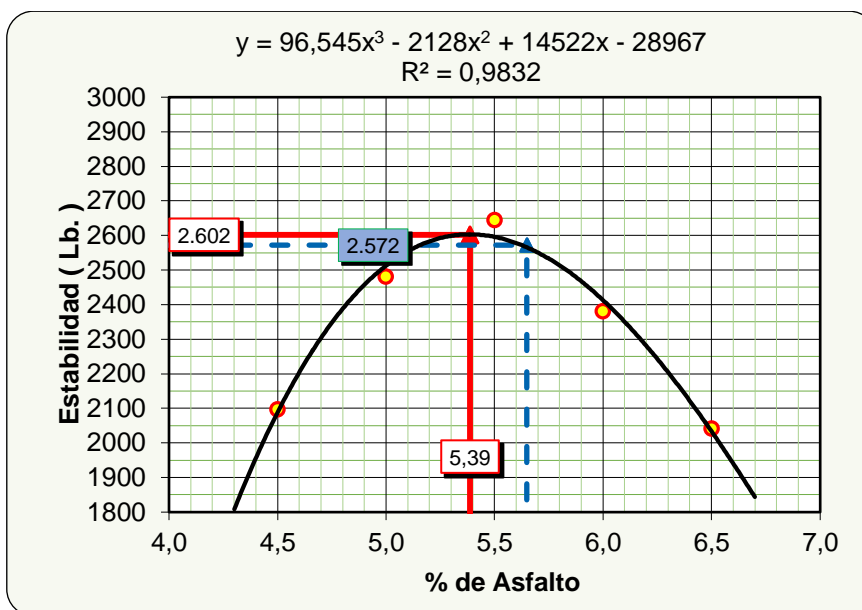
Porcentaje de asfalto vs vacíos de agregado mineral (VAM)



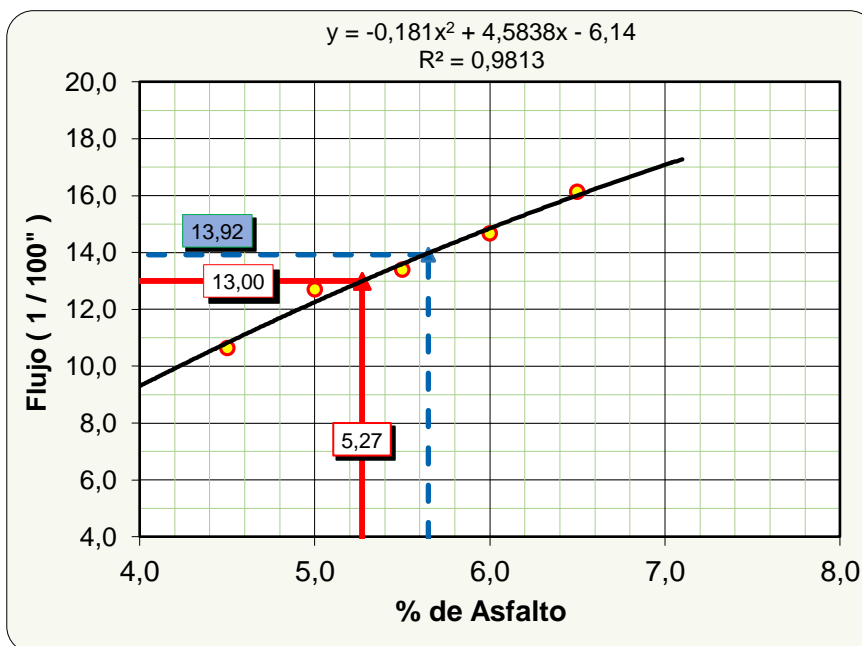
Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)



Porcentaje de asfalto vs estabilidad corregida



Porcentaje de asfalto vs fluencia (flujo)



### Tablas del porcentaje óptimo conseguido del diseño Marshall 1

#### Chancadora Garzón

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,55	2,35	-----	-----
% Vacíos	5,72	4,00	3	5
R.B.V.	5,90	78,50	75	82
V.A.M	4,96	22,30	15	
Estabilidad (Lb)	4,96	2583,00	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,21	11,00	8	14
Promedio ( % )	5,00	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las graficas		

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,38	2,35	-----	-----
% Vacíos	5,38	4,60	3	5
R.B.V.	5,38	73,50	75	82
V.A.M	5,38	17,00		
Estabilidad (Lb)	5,38	25,18	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,38	11,46	8	14
% Óptimo de asfalto propuesto			5,40	

## Tabla de diseño Marshall 2 chancadora Erika

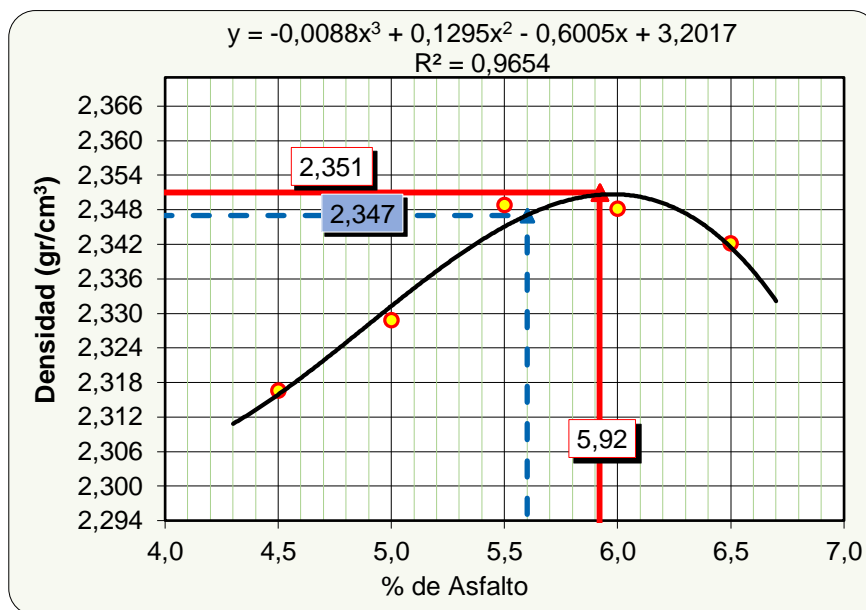
**Tabla 4.5:** Planilla de diseño Marshall 2 chancadora Erika

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)					LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA																		
		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) mm	MEDIA f.c.				CORREGIDA																	
																							a	b	c	r	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
																							1	6,45	4,71	<b>4,50</b>	1186,2	1187,8	675,8	512,0	2,317						1002	2209,0	
2	6,38	4,71	<b>4,50</b>	1190,2	1192,0	678,5	513,5	2,318						1052	2319,2		0,993			10	9,8																		
3	6,44	4,71	<b>4,50</b>	1179,5	1181,0	671,5	509,5	2,315	<b>2,317</b>	2,484	<b>6,73</b>	17,10	60,65	1025	2259,7	2262,7	0,978	0,982	2221,9	11	11,0	10,43																	
4	6,42	5,26	<b>5,00</b>	1196,5	1198,0	684,2	513,8	2,329						1125	2480,2		0,983			12	12,0																		
5	6,38	5,26	<b>5,00</b>	1198,4	1202,2	687,0	515,2	2,326						1115	2458,1		0,993			11	11,2																		
6	6,29	5,26	<b>5,00</b>	1185,6	1186,0	677,5	508,5	2,332	<b>2,329</b>	2,465	<b>5,51</b>	17,10	67,76	1100	2425,1	2454,5	1,016	0,997	2447,1	12	11,5	11,57																	
7	6,53	5,82	<b>5,50</b>	1193,2	1195,6	688,0	507,6	2,351						1227	2705,0		0,956			12	11,9																		
8	6,52	5,82	<b>5,50</b>	1188,2	1191,0	685,4	505,6	2,350						1202	2649,9		0,958			12	12,4																		
9	6,45	5,82	<b>5,50</b>	1194,6	1195,3	686,0	509,3	2,346	<b>2,349</b>	2,446	<b>3,97</b>	16,83	76,39	1200	2645,5	2666,8	0,975	0,963	2568,2	13	12,8	12,37																	
10	6,38	6,38	<b>6,00</b>	1176,5	1178,8	679,0	499,8	2,354						1052	2319,2		0,993			15	14,5																		
11	6,35	6,38	<b>6,00</b>	1193,0	1196,0	687,0	509,0	2,344						1022	2253,1		1,000			14	13,5																		
12	6,40	6,38	<b>6,00</b>	1192,9	1194,3	686,0	508,3	2,347	<b>2,348</b>	2,428	<b>3,27</b>	17,29	81,09	1033	2277,4	2283,2	0,988	0,993	2267,2	14	14,0	14,00																	
13	6,32	6,95	<b>6,50</b>	1186,5	1188,0	681,0	507,0	2,340						852	1878,3		1,008			16	15,6																		
14	6,28	6,95	<b>6,50</b>	1193,8	1194,5	685,5	509,0	2,345						900	1984,1		1,019			16	16,0																		
15	6,29	6,95	<b>6,50</b>	1190,0	1191,5	683,1	508,4	2,341	<b>2,342</b>	2,409	<b>2,79</b>	17,94	84,43	868	1913,6	1925,4	1,016	1,014	1952,3	17	16,8	16,13																	

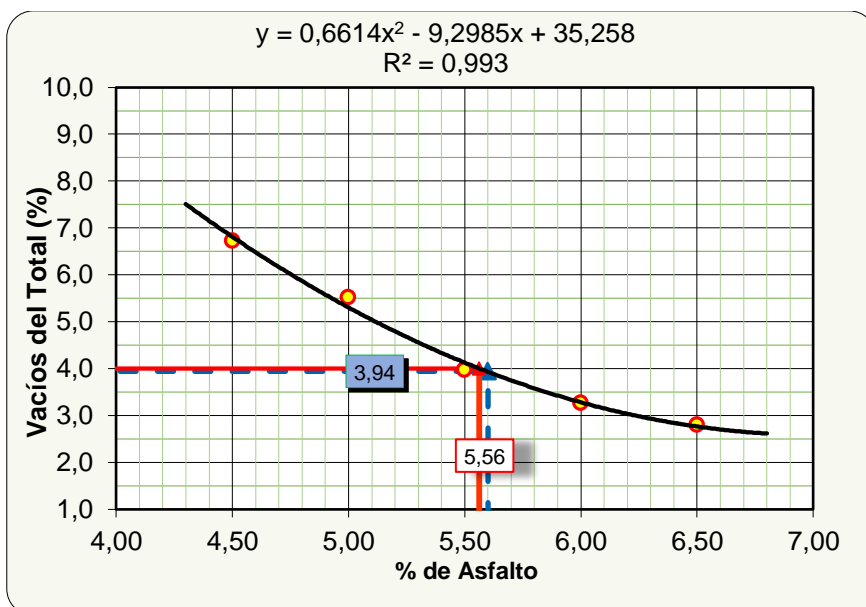
Fuente: Elaboración propia

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

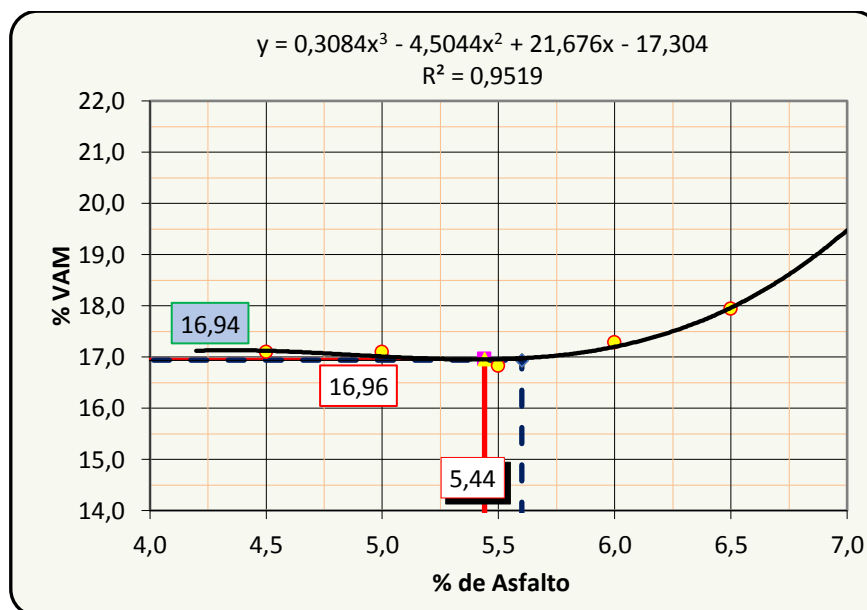
Porcentaje de asfalto vs densidad de la probeta



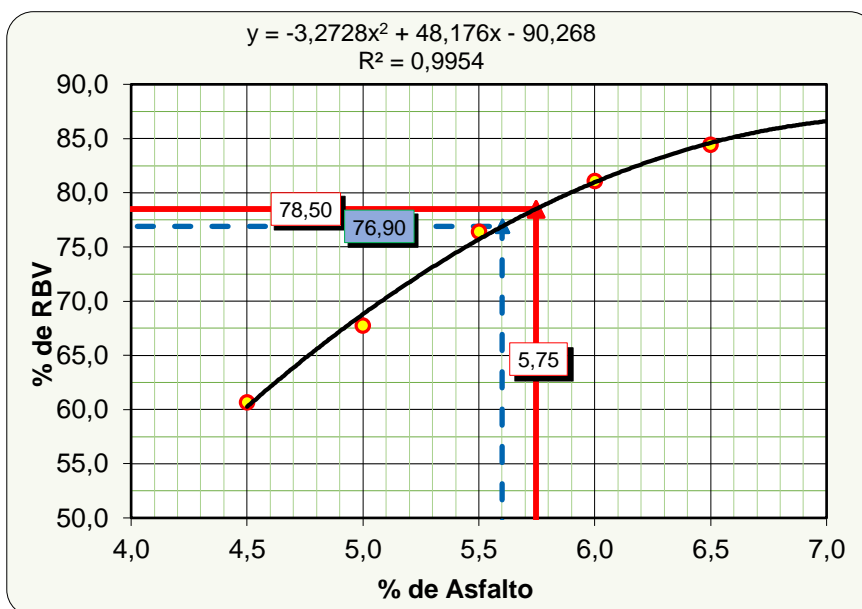
Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total



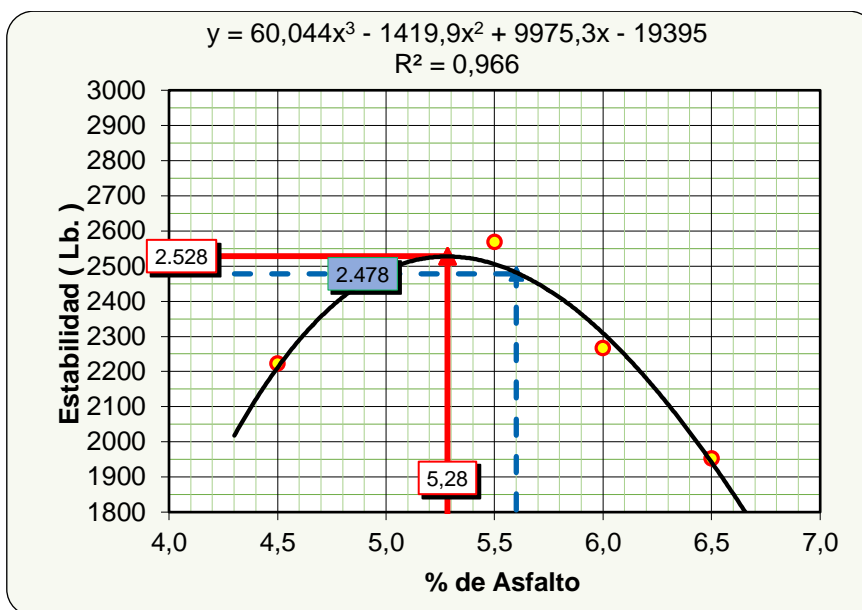
Porcentaje de asfalto vs vacíos de agregado mineral (VAM)



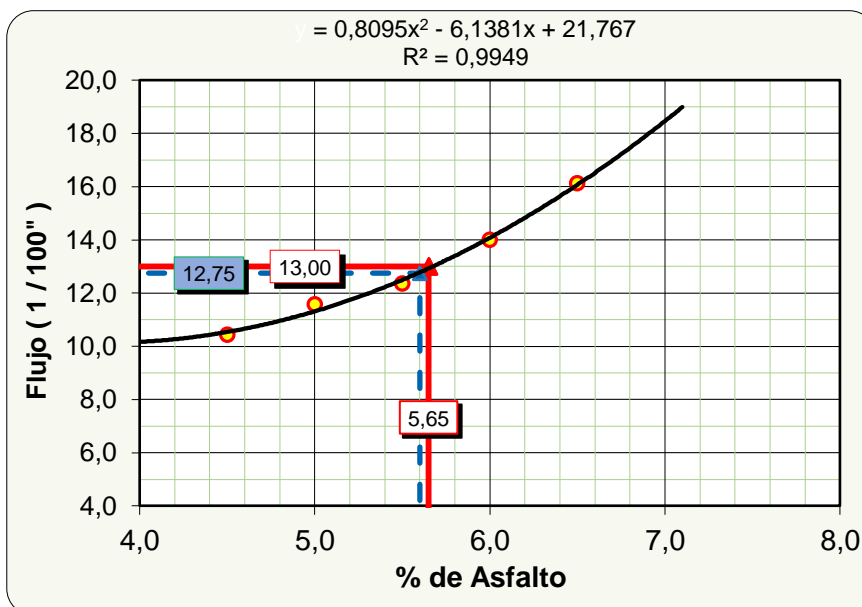
Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)



Porcentaje de asfalto vs estabilidad corregida



Porcentaje de asfalto vs fluencia (flujo)



## Tablas del porcentaje óptimo conseguido del diseño Marshall 2

### Chancadora Erika

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,92	2,35	-----	-----
% Vacíos	5,56	4,00	3	5
R.B.V.	5,75	78,50	75	82
V.A.M	5,44	17,00	-----	-----
Estabilidad (Lb)	5,28	2528,40	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,65	13,00	8	18
Promedio ( % )	5,60	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,60	2,347	-----	-----
% Vacíos	5,60	3,94	3	5
R.B.V.	5,60	76,90	75	82
V.A.M	5,60	16,94	-----	-----
Estabilidad (Lb)	5,60	2478	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,60	12,75	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,60	



### Tabla de diseño Marshall 3 chancadora SEDECA

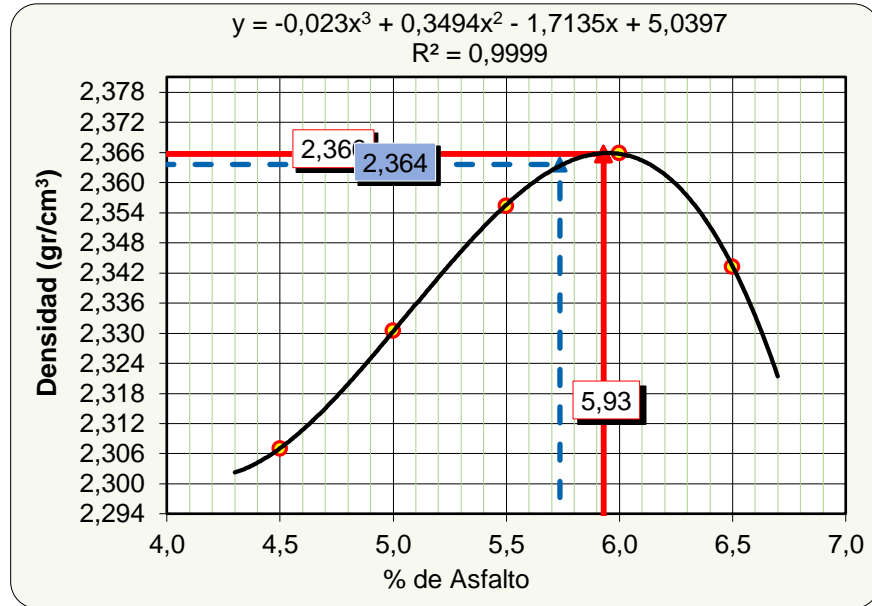
Tabla 4.6: Planilla de diseño Marshall 3 chancadora SEDECA

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)					LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA		
		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
																	mm	mm					
1	6,32	4,71	4,50	1186,2	1187,5	673,5	514,0	2,308					932	2054,7		1,008			8	7,5			
2	6,25	4,71	4,50	1191,3	1192,1	676,2	515,9	2,309					941	2074,5		1,027			9	8,5			
3	6,35	4,71	4,50	1187,2	1188,4	673,2	515,2	2,304	2,307	2,494	7,51	17,84	57,89	922	2032,6	2054,0	1,000	1,012	2078,6	8	8,0	8,00	
4	6,33	5,26	5,00	1194,3	1195,3	683,1	512,2	2,332					1070	2358,9		1,005			9	9,0			
5	6,25	5,26	5,00	1191,5	1192,3	680,2	512,1	2,327					1068	2354,5		1,027			11	10,6			
6	6,29	5,26	5,00	1195,7	1196,8	684,3	512,5	2,333	2,330	2,475	5,85	17,44	66,47	1065	2347,9	2353,8	1,016	1,016	2391,4	10	10,0	9,87	
7	6,15	5,82	5,50	1177,8	1178,4	678,2	500,2	2,355					1126	2482,4		1,056			12	12,2			
8	6,31	5,82	5,50	1195,7	1196,2	688,9	507,3	2,357					1136	2504,4		1,011			12	12,1			
9	6,25	5,82	5,50	1185,2	1186,5	683,1	503,4	2,354	2,355	2,456	4,11	17,00	75,81	1156	2548,5	2511,8	1,027	1,031	2589,6	11	11,0	11,77	
10	6,27	6,38	6,00	1185,9	1186,4	685,2	501,2	2,366					1205	2656,5		1,021			14	13,5			
11	6,15	6,38	6,00	1183,1	1183,9	684,2	499,7	2,368					1225	2700,6		1,056			15	15,2			
12	6,30	6,38	6,00	1195,2	1196,4	690,8	505,6	2,364	2,366	2,438	2,95	17,07	82,73	1215	2678,6	2678,6	1,013	1,030	2758,9	14	14,1	14,27	
13	6,23	6,95	6,50	1193,1	1194,1	686,2	507,9	2,349					901	1986,3		1,032			15	15,4			
14	6,34	6,95	6,50	1199,2	1200,2	688,4	511,8	2,343					892	1966,5		1,003			16	16,3			
15	6,40	6,95	6,50	1187,8	1188,3	680,2	508,1	2,338	2,343	2,419	3,15	18,30	82,81	897	1977,5	1976,8	0,988	1,008	1992,6	16	15,5	15,73	

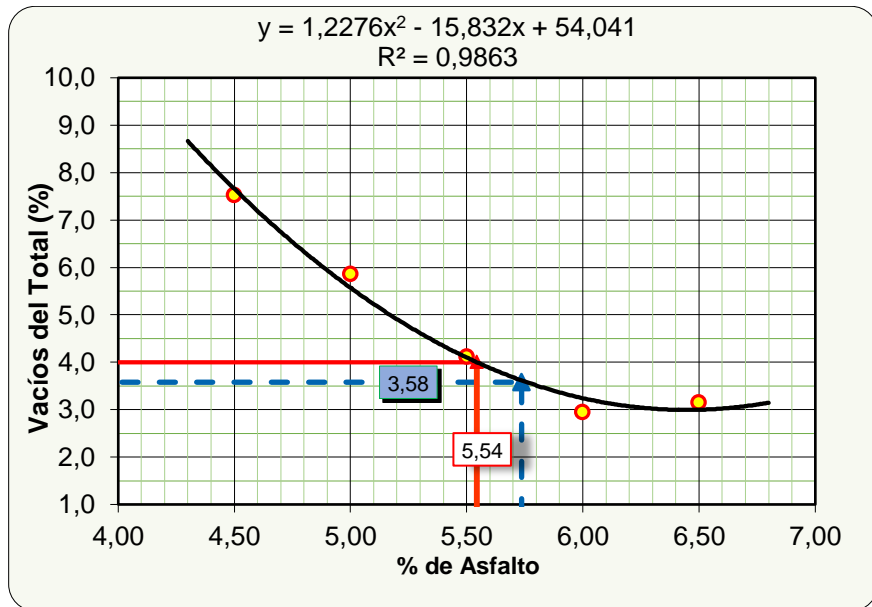
Fuente: Elaboración propia

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

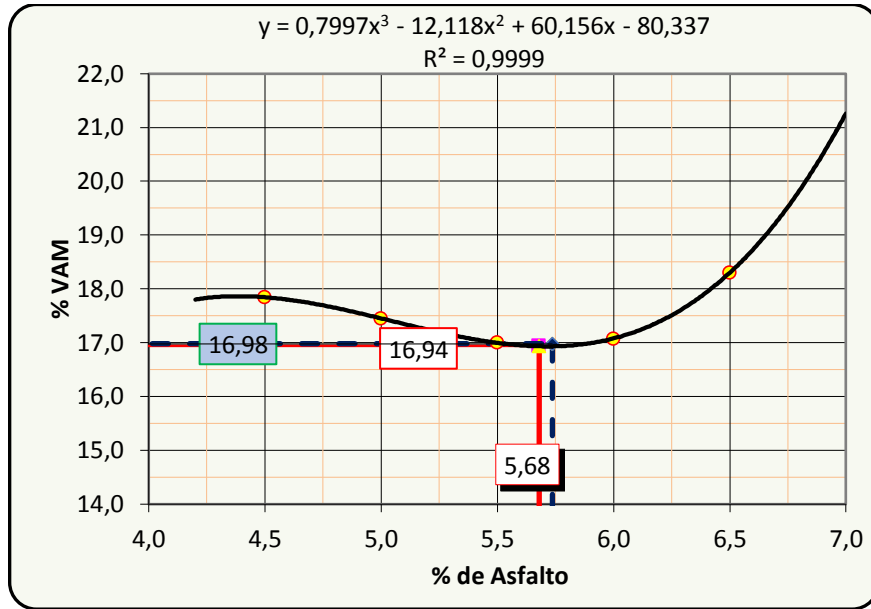
Porcentaje de asfalto vs densidad de la probeta



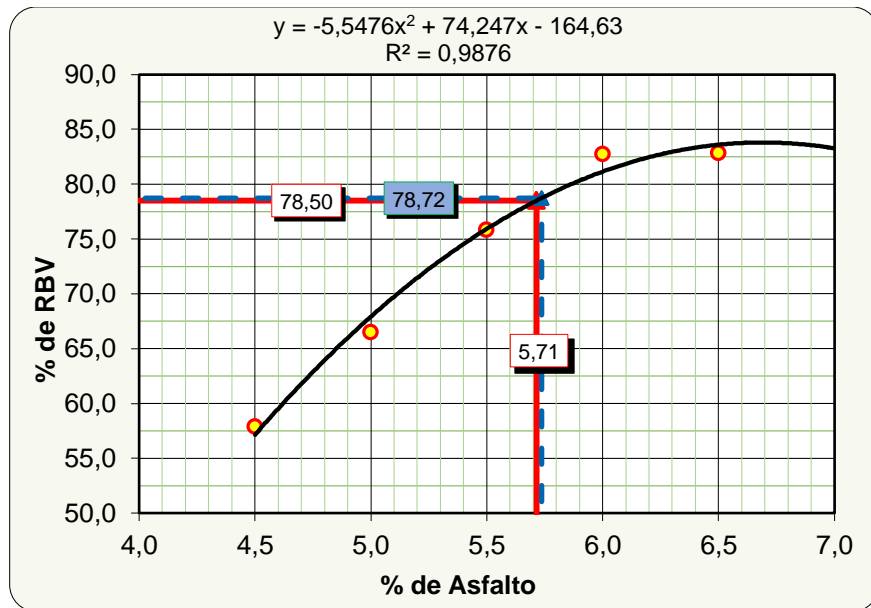
Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total



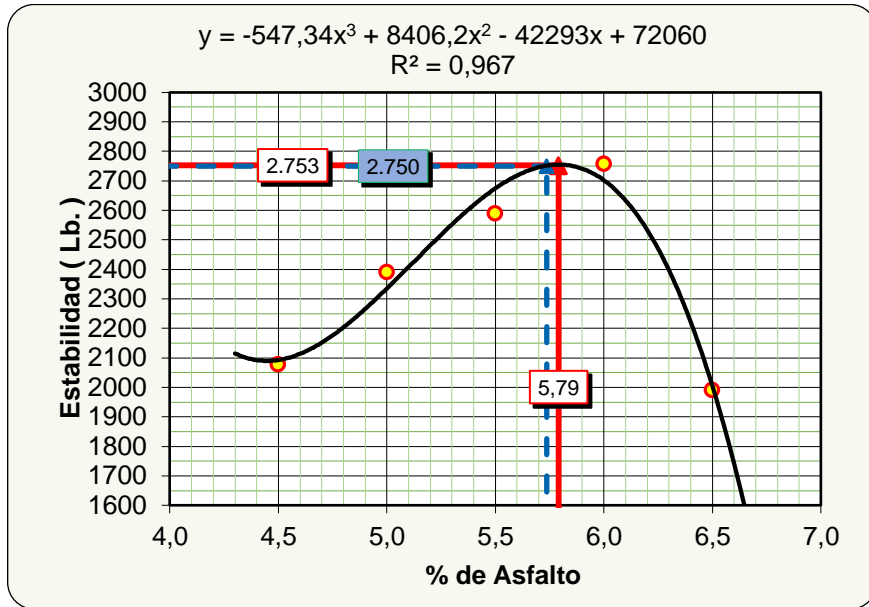
Porcentaje de asfalto vs vacíos de agregado mineral (VAM)



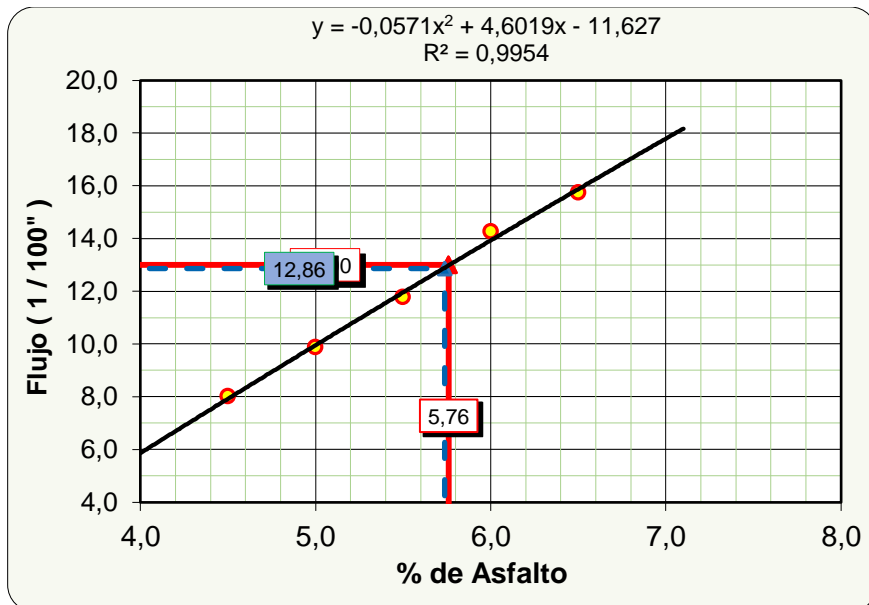
Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)



Porcentaje de asfalto vs estabilidad corregida



Porcentaje de asfalto vs fluencia (flujo)



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

#### Chancadora SEDECA

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,93	2,366	-----	-----
% Vacíos	5,54	4,0	3	5
R.B.V.	5,71	78,5	75	82
V.A.M	5,68	16,9	-----	-----
Estabilidad (Lb)	5,79	2752,6	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,76	13,0	8	18
Promedio ( % )	5,74	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,74	2,364	-----	-----
% Vacíos	5,74	3,58	3	5
R.B.V.	5,74	78,72	75	82
V.A.M	5,74	16,98	-----	-----
Estabilidad (Lb)	5,74	2750	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,74	12,86	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,74	

#### 4.7. Datos obtenidos del ensayo Marshall

##### 4.7.1. Datos obtenidos del ensayo Marshall N° 1 chancadora Garzón

**Tabla 4.7:** Planilla de resultados diseño Marshall 1 chancadora Garzón

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 LECT. DIAL
1	6,59	4,71	1188,3	1194,1	678,0	516,1	1002	11
2	6,57	4,71	1189,9	1190,2	673,8	516,4	986	10
3	6,58	4,71	1188,6	1191,3	676,2	515,1	1025	11
4	6,52	5,26	1193,7	1198,0	684,5	513,5	1176	13
5	6,62	5,26	1189,9	1194,9	682,3	512,6	1189	13
6	6,59	5,26	1190,2	1195,9	682,5	513,4	1196	13
7	6,47	5,82	1188,6	1192,1	686,2	505,9	1200	13
8	6,45	5,82	1192,3	1194,4	684,8	509,6	1273	14
9	6,48	5,82	1187,8	1189,9	683,0	506,9	1232	14
10	6,34	6,38	1184,8	1185,3	681,4	503,9	1096	15
11	6,52	6,38	1202,1	1203,8	691,4	512,4	1071	14
12	6,41	6,38	1188,6	1191,5	685,9	505,6	1132	15
13	6,44	6,95	1189,5	1191,2	683,3	507,9	952	16
14	6,40	6,95	1191,1	1192,5	683,7	508,8	900	16
15	6,42	6,95	1190,3	1192,0	685,0	507,0	974	17

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.2. Datos obtenidos del ensayo Marshall N° 2 chancadora Erika

**Tabla 4.8:** Planilla de resultados diseño Marshall 2 chancadora Erika

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 LECT. DIAL
1	6,45	4,71	1186,2	1187,8	675,8	512,0	1002	11
2	6,38	4,71	1190,2	1192,0	678,5	513,5	1052	10
3	6,44	4,71	1179,5	1181,0	671,5	509,5	1025	11
4	6,42	5,26	1196,5	1198,0	684,2	513,8	1125	12
5	6,38	5,26	1198,4	1202,2	687,0	515,2	1115	11
6	6,29	5,26	1185,6	1186,0	677,5	508,5	1100	12
7	6,53	5,82	1193,2	1195,6	688,0	507,6	1227	12
8	6,52	5,82	1188,2	1191,0	685,4	505,6	1202	12
9	6,45	5,82	1194,6	1195,3	686,0	509,3	1200	13
10	6,38	6,38	1176,5	1178,8	679,0	499,8	1052	15
11	6,35	6,38	1193,0	1196,0	687,0	509,0	1022	14
12	6,40	6,38	1192,9	1194,3	686,0	508,3	1033	14
13	6,32	6,95	1186,5	1188,0	681,0	507,0	852	16
14	6,28	6,95	1193,8	1194,5	685,5	509,0	900	16
15	6,29	6,95	1190,0	1191,5	683,1	508,4	868	17

Fuente: Elaboración propia

### 4.7.3. Datos obtenidos del ensayo Marshall N° 3 chancadora SEDECA

**Tabla 4.9:** Planilla de resultados diseño Marshall 3 chancadora SEDECA

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 LECT. DIAL
1	6,32	4,71	1186,2	1187,5	673,5	514,0	932	8
2	6,25	4,71	1191,3	1192,1	676,2	515,9	941	9
3	6,35	4,71	1187,2	1188,4	673,2	515,2	922	8
4	6,33	5,26	1194,3	1195,3	683,1	512,2	1070	9
5	6,25	5,26	1191,5	1192,3	680,2	512,1	1068	11
6	6,29	5,26	1195,7	1196,8	684,3	512,5	1065	10
7	6,15	5,82	1177,8	1178,4	678,2	500,2	1126	12
8	6,31	5,82	1195,7	1196,2	688,9	507,3	1136	12
9	6,25	5,82	1185,2	1186,5	683,1	503,4	1156	11
10	6,27	6,38	1185,9	1186,4	685,2	501,2	1205	14
11	6,15	6,38	1183,1	1183,9	684,2	499,7	1225	15
12	6,30	6,38	1195,2	1196,4	690,8	505,6	1215	14
13	6,23	6,95	1193,1	1194,1	686,2	507,9	901	15
14	6,34	6,95	1199,2	1200,2	688,4	511,8	892	16
15	6,40	6,95	1187,8	1188,3	680,2	508,1	897	16

**Fuente:** Elaboración 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 realizará las briquetas correspondientes para nuestro estudio haciendo varias la temperatura de compactado.

##### Resultados obtenidos del diseño Marshall 1 chancadora Garzón

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,65	2,346	-----	-----
% Vacíos	5,65	4,14	3	5
R.B.V.	5,65	76,18	75	82
V.A.M.	5,65	17,24	-----	-----
Estabilidad (Lb)	5,65	2572	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,65	13,92	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,65	

##### Resultados obtenidos del diseño Marshall 2 chancadora Erika

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,60	2,347	-----	-----
% Vacíos	5,60	3,94	3	5
R.B.V.	5,60	76,90	75	82
V.A.M.	5,60	16,94	-----	-----
Estabilidad (Lb)	5,60	2478	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,60	12,75	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,60	

### Resultados obtenidos del diseño Marshall 3 chancadora SEDECA

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	valores con el % optimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,74	2,364	-----	-----
% Vacíos	5,74	3,58	3	5
R.B.V.	5,74	78,72	75	82
V.A.M.	5,74	16,98	-----	-----
Estabilidad (Lb)	5,74	2750	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,74	12,86	8	18
% óptimo de asfalto propuesto			5,74	

#### 4.9. Análisis de control de adherencia entre agregado triturado y cemento asfáltico mediante el ensayo de tracción indirecta

##### 4.9.1. Fabricación de briquetas para el análisis de control de adherencia con diferentes agregados triturados y porcentajes óptimos de asfalto método tracción indirecta.

###### Procedimiento:

Después de calcular los porcentajes óptimos del cemento asfáltico correspondientes a cada uno de los 3 diseños obteniendo DISEÑO 1 = 5,65 %, DISEÑO 2 = 5,60 %, DISEÑO 3 = 5,74 % 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 caliente.

Seguidamente se procede a pesar los agregados según especifica la planilla de dosificación y se calientan en la plancha a una temperatura de 150 °C a 160 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 °C 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 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 que la temperatura de mezclado este entre el rango de 150 °C. de mezcla asfáltica caliente.

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 101,6 mm 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 30 briquetas para cada diseño al ser 3 diseños con diversas proporciones de agregados y su respectivos porcentajes óptimos de asfalto, se llegó a fabricar un total de 90 briquetas para este estudio. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente, luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

Una vez que se contaba con todas las briquetas fabricadas, para cada chancadora se tenía 30 de las cuales se las sub dividió en 2 grupos, 15 briquetas de un lado y 15 para otro lado.

Se procedió a tomar un grupo de las 15 briquetas, serian el grupo de húmedas, llevándolas a un proceso de congelamiento a una temperatura de -5 °C durante 16 horas, cumpliendo este paso se colocó a las briquetas en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas, inmediatamente se las coloca en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas juntamente con el otro grupo de las 15 briquetas para luego ser ensayadas a tracción indirecta.

**4.9.1.1. Mezcla 1: Realizada con él % óptimo de cemento asfáltico y agregado triturado chancadora Garzón**

Granulometría proyectada:

Grava: 20 %

Gravilla: 30 %

Arena: 50 %

% óptimo de asfalto = 5,65 %

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% ret. tamiz	5,65 %	
				P. parcial	P. acumulado
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	97,90	2,15	2,10	23,40	23,41
1/2"	85,15	14,92	12,91	145,85	169,23
3/8"	71,42	28,63	13,62	154,11	323,34
Nº4	51,63	48,48	19,87	224,42	547,87
Nº10	39,15	60,94	12,61	142,31	690,02
Nº16	33,52	66,56	5,53	62,73	752,76
Nº40	17,21	82,82	16,32	184,32	937,01
Nº80	11,83	88,21	5,43	61,50	998,50
Nº200	5,55	94,52	6,34	71,37	1069,80
Filler	0,00	100,00	5,50	62,45	1132,20
Peso Total=				1132,20	

Peso muestra=	1132,20 gr.
Peso asfalto=	67,80 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

#### 4.9.1.1.1. Mezcla 1: Planilla de valores de resistencia grupo seco

**Tabla 4.10:** Planilla de valores de resistencia grupo seco chancadora Garzón

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/ cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/ cm <sup>2</sup> )	
1	6,45	10,16	680	6,61	6,83			Sin Acondicionar
2	6,39	10,16	723	7,09				
3	6,56	10,16	712	6,80				
7	6,72	10,16	752	7,01	6,88			Sin Acondicionar
8	6,45	10,16	722	7,01				
9	6,32	10,16	666	6,60				
13	6,67	10,16	689	6,47	6,82			Sin Acondicionar
14	6,59	10,16	782	7,44				
15	6,79	10,16	710	6,55				

**Fuente:** Elaboración propia

#### Textura

De manera visual se puede realizar un análisis del grupo de briquetas en seco, después de aplicarles la carga diametral que provoca la rotura de las mismas por el ensayo de tracción indirecta se puede observar una poca impregnación del cemento asfáltico al agregado triturado, debido a que el agregado no tenía muchas caras fracturadas dentro del mismo.

#### 4.9.1.1.2. Mezcla 1: Planilla de valores de resistencia grupo húmedo

**Tabla 4.11:** Planilla de valores de resistencia grupo húmedo chancadora Garzón

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/ cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/ cm <sup>2</sup> )	
4	6,53	10,16	590	5,66				Acondicionada
5	6,45	10,16	632	6,14		6,00	87,9%	
6	6,66	10,16	660	6,21				
10	6,72	10,16	583	5,44				Acondicionada
11	6,35	10,16	633	6,25		5,99	87,1%	
12	6,55	10,16	658	6,29				
16	6,17	10,16	578	5,87				Acondicionada
17	6,24	10,16	620	6,23		6,02	88,2%	
18	6,32	10,16	601	5,96				

**Fuente:** Elaboración propia

#### Textura

De manera visual se puede realizar un análisis del grupo de briquetas en húmedo, después de pasar por varios procesos entre ellos de congelamiento, sumersión al agua y al aplicar la carga diametral que provoca la rotura de las mismas por el ensayo de tracción indirecta se puede observar el daño que provoca el efecto del agua a las briquetas donde afecta a la impregnación del cemento asfáltico al agregado triturado, debido que el agregado no tenía muchas caras fracturadas dentro del mismo y un alto % de vacíos.

**4.9.1.2. Mezcla 2: Realizada con él % óptimo de cemento asfáltico y agregado triturado chancadora Erika**

Granulometría proyectada:

Grava: 32 %

Gravilla: 20 %

Arena: 48 %

% óptimo de asfalto = 5,60 %

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% ret. Tamiz	5,60 %	
				P. parcial	P. acumulado
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	99,91	0,12	0,12	0,81	0,81
1/2"	85,82	14,24	14,17	159,63	160,52
3/8"	75,58	24,53	10,43	117,45	277,91
Nº4	52,44	47,67	23,14	261,42	539,43
Nº10	40,13	59,91	12,35	138,91	678,34
Nº16	34,05	66,00	6,26	69,82	748,11
Nº40	16,44	83,61	17,61	199,33	947,42
Nº80	10,86	89,22	5,60	62,94	1010,31
Nº200	6,72	93,33	4,10	47,00	1057,23
Filler	0,00	100,00	6,71	75,61	1132,80
Peso total=				1132,80	

Peso muestra=	1132,80 gr.
Peso asfalto=	67,20 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

#### 4.9.1.1.3. Mezcla 2: Planilla de valores de resistencia grupo seco

**Tabla 4.12:** Planilla de valores de resistencia grupo seco chancadora Erika

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/ cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/ cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/ cm <sup>2</sup> )	
1	6,52	10,16	678	6,52	6,73		100%	Sin Acondicionar
2	6,52	10,16	735	7,06				
3	6,45	10,16	682	6,63				
7	6,48	10,16	685	6,62	6,69		100%	Sin Acondicionar
8	6,50	10,16	690	6,65				
9	6,45	10,16	698	6,78				
13	6,15	10,16	618	6,30	6,69		100%	Sin Acondicionar
14	6,24	10,16	684	6,87				
15	6,28	10,16	693	6,91				

**Fuente:** Elaboración propia

#### Textura

De manera visual se puede realizar un análisis del grupo de briquetas en seco, después de aplicar la carga diametral que provoca la rotura de las mismas por el ensayo de tracción indirecta se puede observar la regular impregnación del cemento asfáltico al agregado triturado, debido a que el agregado no tenía muchas caras fracturadas dentro del mismo.



#### 4.9.1.1.4. Mezcla 2: Planilla de valores de resistencia grupo húmedo

**Tabla 4.13:** Planilla de valores de resistencia grupo húmedo chancadora Erika

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/ cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/ cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/ cm <sup>2</sup> )	
4	6,17	10,16	611	6,20				Acondicionada
5	6,47	10,16	645	6,25		6,16	91,5%	
6	6,58	10,16	633	6,03				
10	6,42	10,16	635	6,20				Acondicionada
11	6,37	10,16	629	6,19		6,18	92,5%	
12	6,29	10,16	619	6,17				
16	6,50	10,16	648	6,25				Acondicionada
17	6,43	10,16	618	6,02		6,14	91,7%	
18	6,42	10,16	629	6,14				

**Fuente:** Elaboración propia

#### **Textura:**

De manera visual se puede realizar un análisis del grupo de briquetas en húmedo, después de pasar por varios procesos entre ellos de congelamiento, sumersión al agua y al aplicar la carga diametral que provoca la rotura de las mismas por el ensayo de tracción indirecta se puede observar el daño que provoca el efecto del agua a las briquetas donde afecta a la impregnación del cemento asfáltico al agregado triturado, debido que el agregado tenía un porcentaje regular de caras fracturadas dentro del mismo.

#### 4.9.1.3. Mezcla 3: Realizada con él % óptimo de cemento asfáltico y agregado triturado chancadora SEDECA

Granulometría proyectada:

Grava: 25 %

Gravilla: 25 %

Arena: 50 %

% óptimo de asfalto = 5,74 %

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% ret. Tamiz	5,74 %	
				P. parcial	P. acumulado
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	98,71	1,31	1,31	14,21	14,21
1/2"	82,03	18,02	16,72	189,53	203,73
3/8"	76,94	23,13	5,13	57,14	260,81
Nº4	54,22	45,81	22,81	257,42	518,10
Nº10	40,36	59,74	13,94	156,76	674,93
Nº16	32,61	67,42	7,72	87,55	762,41
Nº40	15,73	84,33	16,91	190,72	953,12
Nº80	12,12	87,95	3,62	40,74	993,83
Nº200	7,42	92,61	4,73	53,63	1047,44
Filler	0,00	100,00	7,41	83,71	1131,10
Peso Total=				1131,10	

Peso muestra=	1131,10 gr.
Peso asfalto=	68,90 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

#### 4.9.1.2.1. Mezcla 3: Planilla de valores de resistencia grupo seco

**Tabla 4.14:** Planilla de valores de resistencia grupo seco chancadora SEDECA

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1	6,33	10,16	725	7,18	7,16		100%	Sin Acondicionar
2	6,36	10,16	682	6,72				
3	6,39	10,16	774	7,59				
7	6,15	10,16	730	7,44	7,27		100%	Sin Acondicionar
8	6,18	10,16	726	7,36				
9	6,20	10,16	695	7,02				
13	6,25	10,16	723	7,25	7,10		100%	Sin Acondicionar
14	6,27	10,16	722	7,22				
15	6,24	10,16	680	6,83				

**Fuente:** Elaboración propia

#### **Textura:**

De manera visual se puede realizar un análisis del grupo de briquetas en seco, después de aplicar la carga diametral que provoca la rotura de las mismas por el ensayo de tracción indirecta se puede observar la buena impregnación del cemento asfáltico al agregado triturado, debido a que el agregado tiene un buen porcentaje de caras fracturadas dentro del mismo.

#### 4.9.1.2.2. Mezcla 3: Planilla de valores de resistencia grupo húmedo

**Tabla 4.15:** Planilla de valores de resistencia grupo húmedo chancadora SEDECA

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/cm <sup>2</sup> )	
4	6,17	10,16	712	7,23		6,85	95,6%	Acondicionada
5	6,24	10,16	650	6,53				
6	6,32	10,16	685	6,79				
10	6,22	10,16	710	7,15		6,85	94,1%	Acondicionada
11	6,27	10,16	675	6,75				
12	6,21	10,16	658	6,64				
16	6,17	10,16	690	7,01		6,85	96,5%	Acondicionada
17	6,19	10,16	678	6,86				
18	6,25	10,16	665	6,67				

**Fuente:** Elaboración propia

#### **Textura:**

De manera visual se puede realizar un análisis del grupo de briquetas en húmedo, después de pasar por varios procesos entre ellos de congelamiento, sumersión al agua y al aplicar la carga diametral que provoca la rotura de las mismas por el ensayo de tracción indirecta se puede observar que no existe mucho daño provocado por el efecto del agua a las briquetas, el cemento asfáltico si está impregnado al agregado triturado, debido que el agregado tenía un porcentaje alto de caras fracturadas dentro del mismo y un % de vacíos mínimo.

#### 4.10. Planilla de resultados

##### 4.10.1. Planilla de valores de adherencia método tracción indirecta

**Tabla 4.16:** Planilla de valores de adherencia chancadora Garzón

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/ cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/ cm <sup>2</sup> )	
1	6,45	10,16	680	6,61	6,83		100%	Sin Acondicionar
2	6,39	10,16	723	7,09				
3	6,56	10,16	712	6,80				
4	6,53	10,16	590	5,66	6,00	6,00	87,9%	Acondicionada
5	6,45	10,16	632	6,14				
6	6,66	10,16	660	6,21				
7	6,72	10,16	752	7,01	6,88		100%	Sin Acondicionar
8	6,45	10,16	722	7,01				
9	6,32	10,16	666	6,60				
10	6,72	10,16	583	5,44	5,99	5,99	87,1%	Acondicionada
11	6,35	10,16	633	6,25				
12	6,55	10,16	658	6,29				
13	6,67	10,16	689	6,47	6,82		100%	Sin Acondicionar
14	6,59	10,16	782	7,44				
15	6,79	10,16	710	6,55				
16	6,17	10,16	578	5,87	6,02	6,02	88,2%	Acondicionada
17	6,24	10,16	620	6,23				
18	6,32	10,16	601	5,96				

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.10.2. Mezcla 2: Planilla de valores de adherencia método tracción indirecta

**Tabla 4.17:** Planilla de valores de adherencia mezcla 2 chancadora Erika

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/ cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/ cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/ cm <sup>2</sup> )	
1	6,52	10,16	678	6,52	6,73		100%	Sin Acondicionar
2	6,52	10,16	735	7,06				
3	6,45	10,16	682	6,63				
4	6,17	10,16	611	6,20		6,16	91,5%	Acondicionada
5	6,47	10,16	645	6,25				
6	6,58	10,16	633	6,03				
7	6,48	10,16	685	6,62	6,69		100%	Sin Acondicionar
8	6,50	10,16	690	6,65				
9	6,45	10,16	698	6,78				
10	6,42	10,16	635	6,20		6,18	92,5%	Acondicionada
11	6,37	10,16	629	6,19				
12	6,29	10,16	619	6,17				
13	6,15	10,16	618	6,30	6,69		100%	Sin Acondicionar
14	6,24	10,16	684	6,87				
15	6,28	10,16	693	6,91				
16	6,50	10,16	648	6,25		6,14	91,7%	Acondicionada
17	6,43	10,16	618	6,02				
18	6,42	10,16	629	6,14				

**Fuente:** Elaboración propia

### 4.10.3. Mezcla 2: Planilla de valores de adherencia método tracción indirecta

**Tabla 4.18:** Planilla de valores de adherencia mezcla 2 chancadora Erika

Prob. N°	Altura	Diámetro	Carga	Tracción Indirecta	Prom. De la Resistencia seca	Prom. De la Resistencia Húmeda	Cálculo TRS=Rh/Rs*100	Tipo de ensayo
	cm	cm	kg	$\frac{2 * Carga}{\pi * d * h}$	Rs( kg/cm <sup>2</sup> )	Rh( kg/cm <sup>2</sup> )	TRS (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1	6,33	10,16	725	7,18	7,16		100%	Sin Acondicionar
2	6,36	10,16	682	6,72				
3	6,39	10,16	774	7,59				
4	6,17	10,16	712	7,23	6,85	6,85	95,6%	Acondicionada
5	6,24	10,16	650	6,53				
6	6,32	10,16	685	6,79				
7	6,15	10,16	730	7,44	7,27		100%	Sin Acondicionar
8	6,18	10,16	726	7,36				
9	6,20	10,16	695	7,02				
10	6,22	10,16	710	7,15	6,85	6,85	94,1%	Acondicionada
11	6,27	10,16	675	6,75				
12	6,21	10,16	658	6,64				
13	6,25	10,16	723	7,25	7,10		100%	Sin Acondicionar
14	6,27	10,16	722	7,22				
15	6,24	10,16	680	6,83				
16	6,17	10,16	690	7,01	6,85	6,85	96,5%	Acondicionada
17	6,19	10,16	678	6,86				
18	6,25	10,16	665	6,67				

**Fuente:** Elaboración propia

## Resultados de adherencia entre cemento asfáltico y agregado triturado chancadora Garzón

Granulometría proyectada:

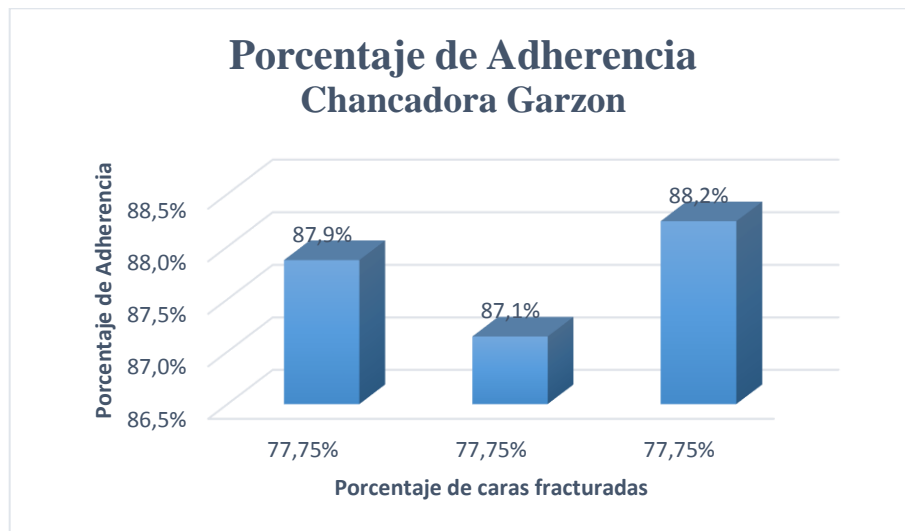
Grava: 20 %

Gravilla: 30 %

Arena: 50 %

% óptimo de asfalto = 5,65 %

Parámetros	Unidades	Mezcla 1		
		Chanc. Garzón + % óptimo de asfalto		
Resistencia a tracción húmeda Rh	( kg/cm <sup>2</sup> )	6,00	5,99	6,02
Resistencia a tracción seca Rs	( kg/cm <sup>2</sup> )	6,83	6,88	6,82
Resistencia Conservada	%	87,9%	87,1%	88,2%
% de caras fracturadas	%	77,75%	77,75%	77,75%





## Resultados de adherencia entre cemento asfáltico y agregado triturado chancadora Erika

Granulometría proyectada:

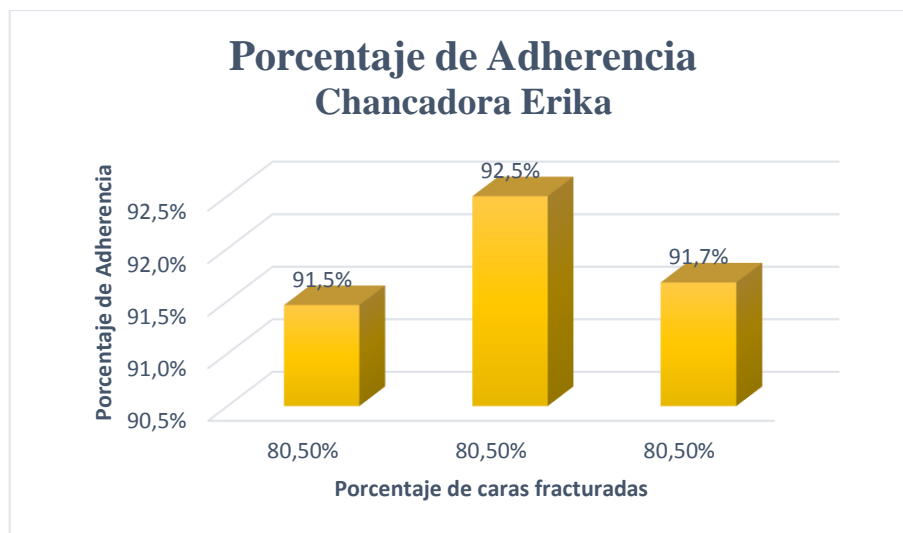
Grava: 32 %

Gravilla: 20 %

Arena: 48 %

% óptimo de asfalto = 5,60 %

Parámetros	Unidades	Mezcla 2		
		Chanc. Erika + % óptimo de asfalto		
Resistencia a tracción húmeda Rh	( kg/cm <sup>2</sup> )	6,16	6,18	6,14
Resistencia a tracción seca Rs	( kg/cm <sup>2</sup> )	6,73	6,69	6,69
Resistencia Conservada	%	91,5%	92,5%	91,7%
% de caras fracturadas	%	80,5%	80,5%	80,5%



## Resultados de adherencia entre cemento asfáltico y agregado triturado chancadora SEDECA

Granulometría proyectada:

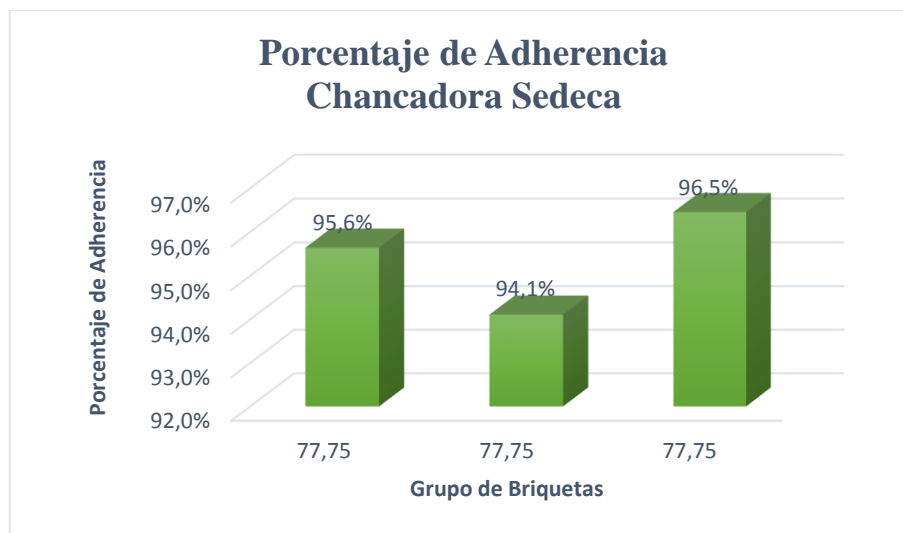
Grava: 25 %

Gravilla: 25 %

Arena: 50 %

% óptimo de asfalto = 5,74 %

Parámetros	Unidades	Mezcla 3		
		Chanc. Sedeca + % óptimo de asfalto		
Resistencia a tracción húmeda Rh	( kg/cm <sup>2</sup> )	6,85	6,85	6,85
Resistencia a tracción seca Rs	( kg/cm <sup>2</sup> )	7,16	7,27	7,10
Resistencia Conservada	%	95,6%	94,1%	96,5%
% de caras fracturadas	%	94,8%	94,8%	94,8%



## **Análisis de Adherencia**

El pavimento de una carretera debe cumplir con ciertos requisitos para garantizar al usuario seguridad como principal y más relevante condición de servicio, es por esto que la selección de los agregados y el cemento asfáltico juegan un papel importante a la hora de realizarse el diseño de la mezcla. Para adentrarnos en el tema se quiere exaltar la función de éstos dos componentes, vitales a la hora de interactuar de manera mono tónica en función de servicio y durabilidad.

La adherencia es una de las propiedades más importantes de una mezcla asfáltica, siendo así que debe cumplir a ser mayor al valor de 80% para que tenga una buena adherencia agregado y cemento asfáltico, así también tendrá una buena resistencia para hacerle frente a los daños climáticos, al efecto del agua que ocasionan fallas dentro de las carreteras

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 °C a 140 °C.

El ensayo de Tracción Indirecta es poco usual en nuestro medio, son más usuales los métodos empíricos de visualización del comportamiento agregado – cemento asfáltico, siendo muy útil y preciso para controlar la adherencia, debido que se puede controlar de forma visual y por medio del valor de la resistencia conservada que tendrá la mezcla, que debe ser mayor al 80% para que presente una buena adherencia.

La principal ventaja de este ensayo es la sencillez en cuanto a su metodología. Es muy valorado por las instituciones que necesitan caracterizar de una forma rápida, confiable y económica los pavimentos que gestionan. Es un método que cuenta con varias ventajas:

- Es un ensayo relativamente sencillo.

- Presenta similitud con otro tipo de ensayos como el Marshall.

- El tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otro tipo de ensayos.

- La rotura se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones de tracción.

Una de las desventajas que se puede evidenciar dentro del estudio de adherencia mediante el método de Tracción Indirecta es el procesamiento que se realiza a las briquetas del grupo húmedo, el mantenerlas a las temperaturas y tiempos indicados, el poder contar con los equipos necesarios dentro del laboratorio.

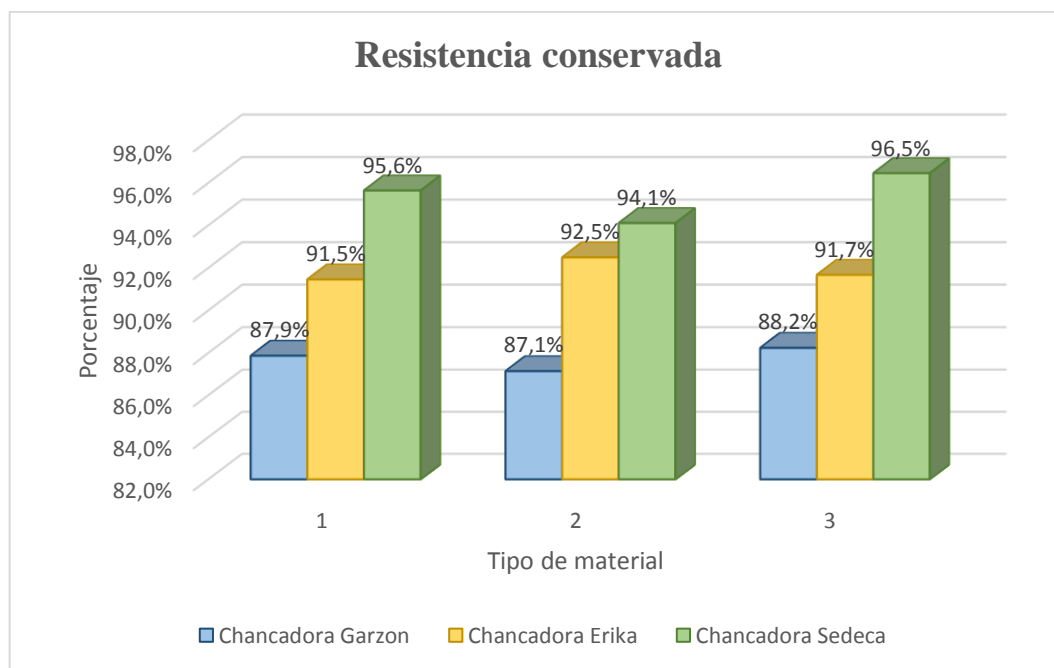
### Síntesis de valores de adherencia por tracción indirecta

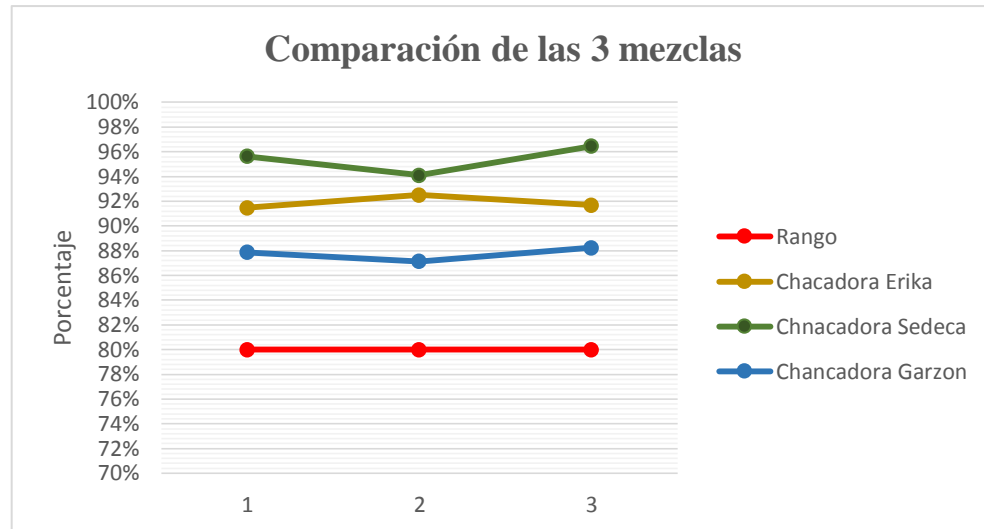
**Tabla 4.19:** Planilla de resultados de adherencia de la mezcla 1, 2, 3

N°	Chancadora Garzón			Chancadora Erika			Chancadora SEDECA		
	Grupo secas	Grupo húmedas	R <sub>RT</sub>	Grupo secas	Grupo húmedas	R <sub>RT</sub>	Grupo secas	Grupo húmedas	R <sub>RT</sub>
	Promedio	Promedio		Promedio	Promedio		Promedio	Promedio	
1	6,82	6,02	88,2%	6,73	6,16	91,5%	7,16	6,85	95,6%
2	6,84	6,01	88,0%	6,69	6,20	92,8%	7,25	6,89	95,0%
3	6,83	6,00	87,9%	6,66	6,18	92,9%	7,10	6,85	96,5%
4	6,85	6,04	88,1%	6,69	6,14	91,7%	7,27	6,85	94,1%
5	6,88	5,99	87,1%	6,67	6,09	91,4%	7,07	6,69	94,7%

Fuente: Elaboración propia

### Gráfica de comparación entre las 3 Mezclas





Después de analizar los datos obtenidos del ensayo de tracción indirecta respectivos a la Adherencia de una mezcla asfáltica caliente compuesta de agregado triturado chancadora Garzón, Erika y SEDECA y % óptimo de cemento asfáltico respectivo de cada banco, se observa que están superior al rango de 80% según indica la norma AASHTO T-283, es decir que si tienen una buena adherencia o resistencia entre sus componentes, la mezcla 1 agregado triturado SEDECA y cemento asfáltico tiene valores de adherencia de 95,6%, 94,1%, 96,5% siendo la mejor mezcla comparada con las otras dos, esto por tener un buen agregado natural, el cual tiene un correcto proceso de trituración, que le permite tener mejor adherencia con el cemento asfáltico de esta manera cuando sea utilizada en la construcción de carreteras resistirá a los efectos climatológicos, al daño que provoca la humedad a la carpeta asfáltica, provocado fallas, fisuras o baches en el pavimento.

La Mezcla 3 agregado triturado Garzón y cemento asfáltico tiene valores de adherencia de 87,9%, 87,1%, 88,2% tiene los valores más bajos de las tres mezclas esto porque su agregado no presenta una buena trituración, tiene algunos agregados de terminación ovalada, que no le permite una mejor adherencia con el cemento asfáltico.

Las 3 mezclas cumplen además con las propiedades de estabilidad y fluencia siendo así una mezcla apta para su uso en la construcción de carreteras.

#### 4.11. Tratamiento estadístico

Nivel de confianza de los resultados:

##### Cálculo de nivel de confianza

Para determinar el nivel de confianza de resultados se aplicó el método CHI<sup>2</sup> con la distribución normal.

##### Cálculo: Adherencia de grupo seco chancadora Garzón

##### Método de ajuste por Chi<sup>2</sup>

Datos adherencia 1 Garzón		
6,61	7,09	6,80
7,01	7,01	6,60
6,47	7,44	6,55

##### Ordenar datos de menor a mayor

6,47	6,55	6,60
6,61	6,80	7,01
7,01	7,09	7,44

##### Cálculo del número de intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \text{Ln}(N)$$

Donde:

N= Número de datos

NC=Número de intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \text{Ln}(9)$$

$$NC = 3,922 = 4$$

##### Cálculo de la amplitud de cada intervalo

$$\Delta X = \frac{\text{Dato máximo} - \text{Dato mínimo}}{NC - 1}$$

$$\Delta X = \frac{7,44 - 6,47}{4 - 1} = 0,323 = 0,3$$

$$\frac{\Delta X}{2} = 0,15$$

Intervalos de clase		Marca de clase	Frecuencia abs.	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Inf.	Sup.				
6,32	6,62	6,47	4	0,444	0,444
6,62	6,92	6,77	1	0,111	0,556
6,92	7,22	7,07	3	0,333	0,889
7,22	7,52	7,37	1	0,111	1,000

### Cálculo de la Media y Desviación Estándar

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * f}{N}$$

$$\bar{X} = 6,803$$

Desviación estándar:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2 * fi}{N - 1}}$$

$$S_x = 0,35$$

Límite de clase	Z	Área bajo la curva	Frecuencia relativa	Frecuencia abs. (e <sub>i</sub> )		Frecuencia observada (Ø <sub>i</sub> )
6,32	-1,38	0,562	-	0		
6,62	-0,52	0,1985	0,3177	2,8593	3	4
6,92	0,33	0,1293	0,3278	2,9502	3	1
7,22	1,19	0,3830	0,2537	2,2833	2	3
7,52	2,05	0,4798	0,0968	0,8712	1	1
				9	=	9 "OK"

### Cálculo de Xc<sup>2</sup>

$$Xc^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\emptyset_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$Xc^2 = 2,167$$

**Cálculo de  $X^2$** 

Grado de libertad

$$V=k-h-1$$

Donde:

k= Número de intervalos de clase

h=Número de parámetros a estimar

h=2 – para distribución normal

h= 3- para distribución log- normal

$$V= 4-2-1= 1$$

Nivel de significancia ( $\alpha$ )

$$\alpha=5 \% = 0,05$$

$$\left. \begin{array}{l} V= 1 \\ \alpha=0,05 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{de tabla de anexo A-4-4-1.encontramos} \\ X^2= 3,84 \end{array}$$

**Criterio de Decisión**

$$Xc^2 \leq X^2 \quad \text{el ajuste es bueno}$$

$$Xc^2 > X^2 \quad \text{el ajuste es malo}$$

$$2,167 \leq 3,84 \quad \text{“ok” buen ajuste}$$

**Cálculo del nivel de confianza**

Media y desviación estándar de los valores no agrupados

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 6,920$$



Desviación estándar:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S_X = 0,25$$

Para la resistencia mayor:

$$Z = \frac{X_{max} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{7,44 - 6,920}{0,25} = 2,07$$

De. Tabla de anexo A-4-4-3 de distribución normal obtenemos

$$F_1 = 0,9808$$

Para la resistencia menor:

$$Z = \frac{X_{min} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{6,47 - 6,92}{0,25} = -1,79$$

De tabla de anexo A-4-4-2 de distribución normal obtenemos

$$F_2 = 0,0367$$

Nivel de confianza:

$$NC = F_1 - F_2 = 0,9808 - 0,0367 = 0,9441 * 100 = 94.41\%$$

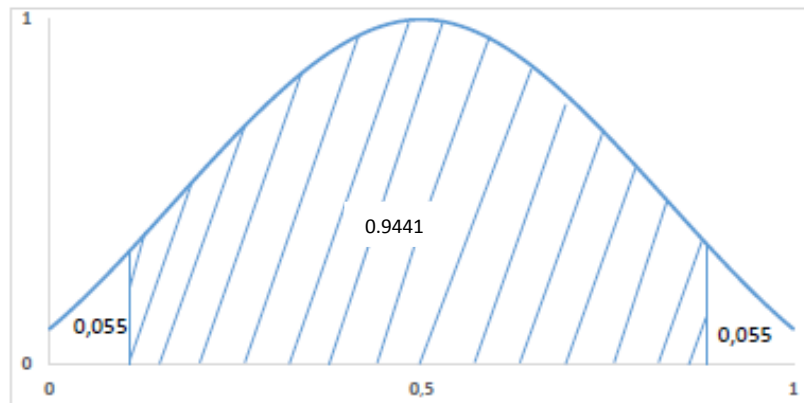
Cálculo del límite superior e inferior:

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$E = Z * S_X$$

Obtención de Z con NC= 0,9441

### CURVA DISTRIBUCIÓN NORMAL



$0.9441 + 0.055 = 0.999$  Dato para entrar a tabla

De tabla de anexo A-4-4-3. de distribución normal obtenemos  $Z = 3,10$

Entonces:

$$E = Z * S_X$$

$$E = 3,10 * 0,25 = 0,775$$

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$X = 6,92 \pm 0,775$$

Cálculo en porcentaje de límite superior e inferior:

$$E_p = \frac{E}{\bar{X}} * 100$$

$$E_p = \frac{0,775}{6,92} * 100$$

$$E_p = \pm 11 \%$$

**Cálculo: Adherencia de grupo húmedo chancadora Garzón****Método de ajuste por Chi<sup>2</sup>**

Datos adherencia 1 Garzón		
5,66	6,14	6,21
5,44	6,25	6,29
5,87	6,23	5,96

**Ordenar Datos de menor a mayor**

5,44	5,66	5,87
5,96	6,14	6,21
6,23	6,25	6,29

**Cálculo del número de intervalos**

$$NC = 1 + 1,33 * \text{Ln}(N)$$

Donde:

N = Número de datos

NC = Número de intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \text{Ln}(9)$$

$$NC = 3,922 = 4$$

**Cálculo de la Amplitud de cada Intervalo**

$$\Delta X = \frac{\text{Dato máximo} - \text{Dato mínimo}}{NC - 1}$$

$$\Delta X = \frac{6,29 - 5,44}{4 - 1} = 0,283 = 0,3$$

$$\frac{\Delta X}{2} = 0,15$$

Intervalos de clase		Marca de clase	Frecuencia abs.	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Inf.	Sup.				
5,29	5,59	5,44	1	0,111	0,111
5,59	5,89	5,74	2	0,222	0,333
5,89	6,19	6,04	2	0,222	0,556
6,19	6,49	6,34	4	0,444	1,000

### Cálculo de la Media y Desviación Estándar

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * f}{N}$$

$$\bar{X} = 6,040$$

Desviación estándar:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2 * fi}{N - 1}}$$

$$S_X = 0,35$$

Límite de clase	Z	Área bajo la curva	Frecuencia relativa	Frecuencia abs. (E <sub>i</sub> )		Frecuencia observada (O <sub>i</sub> )
5,29	-2,26	0,4881	-	0		
5,59	-1,35	0,4115	0,0766	0,6894	1	1
5,89	-0,45	0,1736	0,2379	2,1411	2	2
6,19	0,45	0,1736	0,3472	3,1248	3	2
6,49	1,35	0,4115	0,2379	2,1411	3	4
				9	=	9 "OK"

### Cálculo de X<sub>c</sub><sup>2</sup>

$$X_c^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\emptyset_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$X_c^2 = 0,67$$

**Cálculo de  $X^2$** 

Grado de libertad

$$V=k-h-1$$

Donde:

k= Número de intervalos de clase

h=Número de parámetros a estimar

h=2 – para distribución normal

h= 3- para distribución log- normal

$$V= 4-2-1= 1$$

Nivel de significancia ( $\alpha$ )

$$\alpha=5 \% = 0,05$$

$$\left. \begin{array}{l} V= 1 \\ \alpha=0,05 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{de tabla de anexo A-4-4-1.encontramos} \\ X^2= 3,84 \end{array}$$

**Criterio de Decisión**

$$Xc^2 \leq X^2 \quad \text{el ajuste es bueno}$$

$$Xc^2 > X^2 \quad \text{el ajuste es malo}$$

$$0,67 \leq 3,84 \quad \text{“ok” buen ajuste}$$

**Cálculo del Nivel de Confianza**

Media y desviación estándar de los valores no agrupados

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 5,89$$

Desviación estándar:

$$S_{X} = \sqrt{\frac{(X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S_x = 0,26$$

Para la resistencia mayor:

$$Z = \frac{X_{max} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{6,29 - 5,89}{0,26} = 1,54$$

De. Tabla de anexo A-4-4-3 de distribución normal obtenemos

$$F_1 = 0,9382$$

Para la resistencia menor:

$$Z = \frac{X_{min} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{5,44 - 5,89}{0,26} = -1,73$$

De tabla de anexo A-4-4-2 de distribución normal obtenemos

$$F_2 = 0,0418$$

Nivel de confianza:

$$NC = F_1 - F_2 = 0,9382 - 0,0418 = 0,8964 * 100 = 89.64\%$$

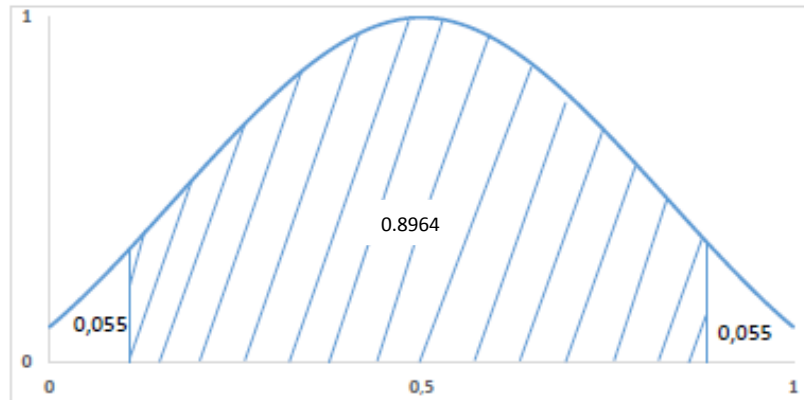
Cálculo del límite superior e inferior:

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$E = Z * S_X$$

Obtención de Z con NC= 0,8964

### CURVA DISTRIBUCIÓN NORMAL



$0.8964 + 0,055 = 0,951$  Dato para entrar a tabla

De tabla de anexo A-4-4-3. de distribución normal obtenemos  $Z = 1,66$

Entonces

$$E = Z * S_X$$

$$E = 1,66 * 0,26 = 0,4316$$

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$X = 5,89 \pm 0,4316$$

Cálculo en porcentaje de límite superior e inferior:

$$E_p = \frac{E}{\bar{X}} * 100$$

$$E_p = \frac{0,4316}{5,89} * 100$$

$$E_p = \pm 7,33 \%$$

### Cálculo: Adherencia de grupo seco chancadora Erika

#### Método de Ajuste por Chi<sup>2</sup>

Datos adherencia 1 Garzón		
6,52	6,62	6,30
7,06	6,65	6,87
6,63	6,78	6,91

#### Ordenar Datos de Menor a Mayor

6,30	6,52	6,62
6,63	6,65	6,78
6,87	6,91	7,06

#### Cálculo del Número de Intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \ln(N)$$

Donde:

N= Número de datos

NC=Número de intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \ln(9)$$

$$NC = 3,922 = 4$$

#### Cálculo de la Amplitud de cada Intervalo

$$\Delta X = \frac{\text{Dato Máximo} - \text{Dato Mínimo}}{NC - 1}$$

$$\Delta X = \frac{7,06 - 6,30}{4 - 1} = 0,253 = 0,3$$

$$\frac{\Delta X}{2} = 0,15$$

Intervalos de clase		Marca de clase	Frecuencia abs.	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Inf.	Sup.				
6,15	6,45	6,3	1	0,111	0,111
6,45	6,75	6,6	4	0,444	0,556
6,75	7,05	6,9	3	0,333	0,889
7,05	7,35	7,2	1	0,111	1,000



### Cálculo de la Media y Desviación Estándar

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * f}{N}$$

$$\bar{X} = 6,733$$

Desviación estándar:

$$S_x = \sqrt{\frac{(Xi - \bar{X})^2 * fi}{N-1}}$$

$$S_x = 0,28$$

Límite de clase	Z	Área bajo la curva	Frecuencia relativa	Frecuencia abs. (E <sub>i</sub> )		Frecuencia observada (O <sub>i</sub> )
6,15	-2,08	0,4812	-	0		
6,45	-1,01	0,4438	0,0374	0,3366	0	4
6,75	0,06	0,0239	0,4199	3,7791	4	1
7,05	1,13	0,3708	0,3947	3,5523	4	3
7,35	2,20	0,4861	0,1153	1,0377	1	1
				9	=	9 "OK"

### Cálculo de Xc<sup>2</sup>

$$Xc^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\emptyset_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$Xc^2 = 0.25$$

### Cálculo de X<sup>2</sup>

Grado de libertad

$$V = k - h - 1$$

Donde:

k= Número de intervalos de clase

h= Número de parámetros a estimar

$h=2$  – para distribución normal

$h=3$  - para distribución log- normal

$$V = 4 - 2 - 1 = 1$$

Nivel de significancia ( $\alpha$ )

$$\alpha = 5\% = 0,05$$

$$\left. \begin{array}{l} V = 1 \\ \alpha = 0,05 \end{array} \right\} \text{ de tabla de anexo A-4-4-1. encontramos } X^2 = 3,84$$

### Criterio de Decisión

$X_c^2 \leq X^2$  el ajuste es bueno

$X_c^2 > X^2$  el ajuste es malo

$$0,25 \leq 3,84 \quad \text{“ok” buen ajuste}$$

### Cálculo del Nivel de Confianza

Media y desviación estándar de los valores no agrupados

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 6,750$$

Desviación estándar:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S_x = 0,24$$

Para la resistencia mayor:

$$Z = \frac{X_{max} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{7,06 - 6,750}{0,24} = 1,30$$

De. Tabla de anexo A-4-4-3 de distribución normal obtenemos

$$F_1 = 0,9032$$

Para la resistencia menor:

$$Z = \frac{X_{min} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{6,30 - 6,750}{0,24} = -1,87$$

De tabla de anexo A-4-4-2 de distribución normal obtenemos

$$F_2 = 0,0307$$

Nivel de confianza:

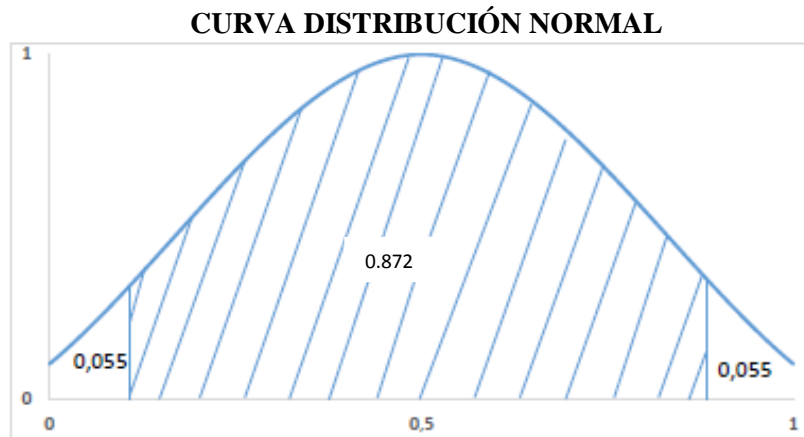
$$NC = F_1 - F_2 = 0,9032 - 0,0307 = 0,872 * 100 = 87.2\%$$

Cálculo del límite superior e inferior:

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$E = Z * S_X$$

Obtención de Z con NC= 0,872



$0.872 + 0.055 = 0.927$  Dato para entrar a tabla

De tabla de anexo A-4-4-3. de distribución normal obtenemos  $Z = 1,45$

Entonces

$$E = Z * S_X$$

$$E = 1,45 * 0,24 = 0,384$$

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$X = 6,75 \pm 0,384$$

Cálculo en porcentaje de límite superior e inferior:

$$Ep = \frac{E}{\bar{X}} * 100$$

$$Ep = \frac{0,384}{6,75} * 100$$

$$Ep = \pm 5,69 \%$$

**Cálculo: Adherencia de grupo húmedo chancadora Garzón****Método de Ajuste por Chi<sup>2</sup>**

Datos adherencia 1 Garzón		
6,20	6,20	6,25
6,25	6,19	6,02
6,03	6,17	6,14

**Ordenar Datos de Menor a Mayor**

6,02	6,03	6,14
6,17	6,19	6,20
6,20	6,25	6,25

**Cálculo del Número de Intervalos**

$$NC = 1 + 1,33 * \ln(N)$$

Donde:

N= Número de datos

NC=Número de intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \ln(9)$$

$$NC = 3,922 = 4$$

**Cálculo de la Amplitud de cada Intervalo**

$$\Delta X = \frac{\text{Dato Máximo} - \text{Dato Mínimo}}{NC - 1}$$

$$\Delta X = \frac{6,25 - 6,02}{4 - 1} = 0,077 = 0,1$$

$$\frac{\Delta X}{2} = 0,05$$

Intervalos de clase		Marca de clase	Frecuencia abs.	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Inf.	Sup.				
5,97	6,07	6,02	2	0,222	0,222
6,07	6,12	6,10	0	0,000	0,222
6,12	6,22	6,7	5	0,556	0,778
6,22	6,32	6,27	2	0,222	1,000

### Cálculo de la Media y Desviación Estándar

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * f}{N}$$

$$\bar{X} = 6,159$$

Desviación estándar:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2 * fi}{N - 1}}$$

$$S_x = 0,08$$

Límite de clase	Z	Área bajo la curva	Frecuencia relativa	Frecuencia abs. (E <sub>i</sub> )		Frecuencia observada (O <sub>i</sub> )
5,97	-2,26	0,4881	-	0		
6,07	-1,06	0,3554	0,1327	1,1943	1	2
6,12	-0,47	0,1808	0,1746	1,5714	2	0
6,22	0,73	0,2673	0,4481	4,0329	4	5
6,32	1,93	0,4732	0,2059	1,8531	2	2
				9	=	9 "OK"

### Cálculo de Xc<sup>2</sup>

$$Xc^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\emptyset_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$Xc^2 = 3,25$$

**Cálculo de  $X^2$** 

Grado de libertad

$$V=k-h-1$$

Donde:

k= Número de intervalos de clase

h=Número de parámetros a estimar

h=2 – para Distribución normal

h= 3- para Distribución log- normal

$$V= 4-2-1= 1$$

Nivel de significancia ( $\alpha$ )

$$\alpha=5 \% = 0,05$$

$$\left. \begin{array}{l} V= 1 \\ \alpha=0,05 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{de tabla de anexo A-4-4-1.encontramos} \\ X^2= 3,84 \end{array}$$

**Criterio de Decisión**

$$Xc^2 \leq X^2 \quad \text{el ajuste es bueno}$$

$$Xc^2 > X^2 \quad \text{el ajuste es malo}$$

$$3,25 \leq 3,84 \quad \text{“ok” buen ajuste}$$

**Cálculo del Nivel de Confianza**

Media y desviación estándar de los valores no agrupados

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 6,139$$

Desviación estándar:

$$S_X = \sqrt{\frac{(X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S_X = 0,07$$

Para la resistencia mayor:

$$Z = \frac{X_{max} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{6,25 - 6,170}{0,07} = 1,14$$

De. Tabla de anexo A-4-4-3 de distribución normal obtenemos

$$F_1 = 0,8729$$

Para la resistencia menor

$$Z = \frac{X_{min} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{6,02 - 6,170}{0,07} = -2,14$$

De tabla de anexo A-4-4-2 de distribución normal obtenemos

$$F_2 = 0,0162$$

Nivel de confianza

$$NC = F_1 - F_2 = 0,8729 - 0,0162 = 0,857 * 100 = 85.7\%$$

Cálculo del límite superior e inferior

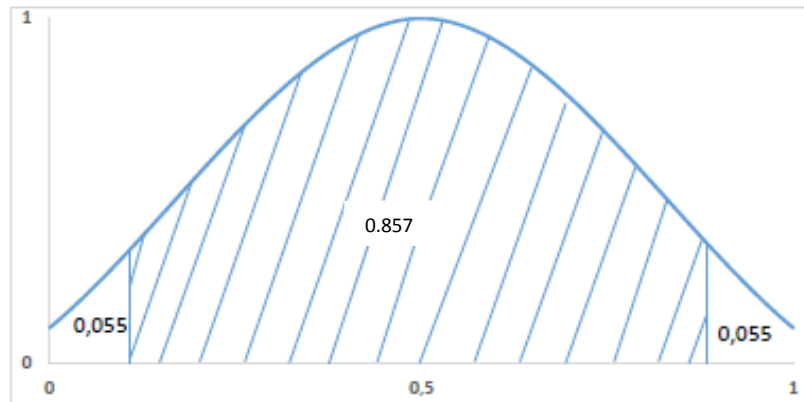
$$X = \bar{X} \pm E$$

$$E = Z * S_X$$

Obtención de Z con NC= 0,857



### CURVA DISTRIBUCIÓN NORMAL



$0.857 + 0,055 = 0,912$  Dato para entrar a tabla

De tabla de anexo A-4-4-3. de distribución normal obtenemos  $Z = 1,35$

Entonces

$$E = Z * S_X$$

$$E = 1,35 * 0,07 = 0,0945$$

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$X = 6,170 \pm 0,0945$$

Cálculo en porcentaje de límite superior e inferior:

$$E_p = \frac{E}{\bar{X}} * 100$$

$$E_p = \frac{0,0945}{6,170} * 100$$

$$E_p = \pm 15.3 \%$$

**Cálculo: Adherencia de grupo seco chancadora SEDECA****Método de Ajuste por Chi<sup>2</sup>**

Datos adherencia 1 SEDECA		
7,18	7,44	7,25
6,72	7,36	7,22
7,59	7,02	6,83

**Ordenar Datos de Menor a Mayor**

6,72	6,83	7,02
7,18	7,22	7,25
7,36	7,44	7,59

**Cálculo del Número de Intervalos**

$$NC = 1 + 1,33 * \ln(N)$$

Donde:

N= Número de datos

NC=Número de intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \ln(9)$$

$$NC = 3,922 = 4$$

**Cálculo de la Amplitud de cada Intervalo**

$$\Delta X = \frac{\text{Dato Máximo} - \text{Dato Mínimo}}{NC - 1}$$

$$\Delta X = \frac{7,59 - 6,72}{4 - 1} = 0,29 = 0,3$$

$$\frac{\Delta X}{2} = 0,15$$

Intervalos de clase		Marca de clase	Frecuencia abs.	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Inf.	Sup.				
6,57	6,87	6,72	1	0,111	0,111
6,87	7,17	7,02	4	0,444	0,556
7,17	7,47	7,32	3	0,333	0,889
7,47	7,77	7,62	1	0,111	1,000

### Cálculo de la Media y Desviación Estándar

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * f}{N}$$

$$\bar{X} = 7,153$$

Desviación estándar:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2 * fi}{N-1}}$$

$$S_x = 0,27$$

Límite de clase	Z	Área bajo la curva	Frecuencia relativa	Frecuencia abs. (e <sub>i</sub> )		Frecuencia observada (O <sub>i</sub> )
6,57	-2,16	0,4846	-	0		
6,87	-1,05	0,3531	0,1315	1,1835	2	4
7,17	0,06	0,0239	0,3770	3,393	3	1
7,47	1,17	0,3577	0,3338	3,004	3	3
7,77	2,28	0,4887	0,1310	1,179	1	1
				9	=	9 "OK"

### Cálculo de Xc<sup>2</sup>

$$Xc^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\emptyset_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$Xc^2 = 0.83$$

### Cálculo de X<sup>2</sup>

Grado de libertad

$$V = k - h - 1$$

Donde:

k = Número de intervalos de clase

$h$ =Número de parámetros a estimar

$h=2$  – para Distribución normal

$h= 3$ - para Distribución log- normal

$$V = 4 - 2 - 1 = 1$$

Nivel de significancia ( $\alpha$ )

$$\alpha = 5\% = 0,05$$

$$\left. \begin{array}{l} V = 1 \\ \alpha = 0,05 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{de tabla de anexo A-4-4-1.encontramos} \\ X^2 = 3,84 \end{array}$$

### Criterio de Decisión

$$X_c^2 \leq X^2 \quad \text{el ajuste es bueno}$$

$$X_c^2 > X^2 \quad \text{el ajuste es malo}$$

$$0,83 \leq 3,84 \quad \text{“ok” buen ajuste}$$

### Cálculo del Nivel de Confianza

Media y desviación estándar de los valores no agrupados

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 7,17$$

Desviación estándar:

$$S_{X=} = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S_x = 0,24$$

Para la resistencia mayor:

$$Z = \frac{X_{max} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{7,59 - 6,750}{0,24} = 1,77$$

De. Tabla de anexo A-4-4-3 de distribución normal obtenemos

$$F_1 = 0,9616$$

Para la resistencia menor:

$$Z = \frac{X_{min} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{6,72 - 6,750}{0,24} = -1,90$$

De tabla de anexo A-4-4-2 de distribución normal obtenemos

$$F_2 = 0,0287$$

Nivel de confianza:

$$NC = F_1 - F_2 = 0,9616 - 0,0287 = 0,933 * 100 = 93,3\%$$

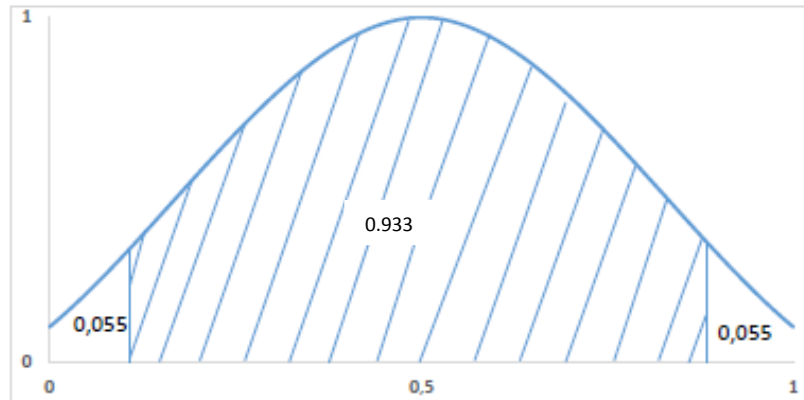
Cálculo del límite superior e inferior

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$E = Z * S_X$$

Obtención de Z con NC= 0,933

### CURVA DISTRIBUCIÓN NORMAL



$0.933 + 0.055 = 0.988$  Dato para entrar a tabla

De tabla de anexo A-4-4-3. de distribución normal obtenemos  $Z = 2,29$

Entonces

$$E = Z * S_X$$

$$E = 2,29 * 0,24 = 0,549$$

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$X = 6,75 \pm 0,549$$

Cálculo en porcentaje de límite superior e inferior:

$$Ep = \frac{E}{\bar{X}} * 100$$

$$Ep = \frac{0,549}{6,75} * 100$$

$$Ep = \pm 8,13 \%$$

### Cálculo: Adherencia de grupo húmedo chancadora SEDECA

#### Método de Ajuste por Chi<sup>2</sup>

Datos adherencia 1 SEDECA		
7,23	7,15	7,01
6,53	6,75	6,86
6,79	6,64	6,67

#### Ordenar Datos de Menor a Mayor

6,53	6,64	6,67
6,75	6,79	6,86
7,01	7,15	7,23

#### Cálculo del Número de Intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \text{Ln}(N)$$

Donde:

N= Número de datos

NC=Número de intervalos

$$NC = 1 + 1,33 * \text{Ln}(9)$$

$$NC = 3,922 = 4$$

#### Cálculo de la Amplitud de cada Intervalo

$$\Delta X = \frac{\text{Dato Máximo} - \text{Dato Mínimo}}{NC - 1}$$

$$\Delta X = \frac{7,23 - 6,53}{4 - 1} = 0,23 = 0,3$$

$$\frac{\Delta X}{2} = 0,15$$

Intervalos de clase		Marca de clase	Frecuencia abs.	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Inf.	Sup.				
6,43	6,63	6,53	1	0,111	0,111
6,63	6,83	6,73	4	0,444	0,556
6,83	7,03	6,93	2	0,222	0,778
7,03	7,23	7,13	2	0,222	1,000

### Cálculo de la Media y Desviación Estándar

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * f}{N}$$

$$\bar{X} = 6,841$$

Desviación estándar:

$$S_x = \sqrt{\frac{(Xi - \bar{X})^2 * fi}{N-1}}$$

$$S_x = 0,16$$

Límite de clase	Z	Área bajo la curva	Frecuencia relativa	Frecuencia abs. (E <sub>i</sub> )		Frecuencia observada (O <sub>i</sub> )
6,43	6,63	6,53	1	0,111		0,111
6,63	6,83	6,73	4	0,444	0,556	26,92
6,83	7,03	6,93	2	0,222	0,778	13,86
7,03	7,23	7,13	2	0,222	1,000	14,26
6,43	6,63	6,53	1	0,111	0,111	6,53
				9	=	9 "OK"

### Cálculo de Xc<sup>2</sup>

$$Xc^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\emptyset_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$Xc^2 = 0,67$$

### Cálculo de X<sup>2</sup>

Grado de libertad

$$V = k - h - 1$$

Donde:

k = Número de intervalos de clase



$h$ =Número de parámetros a estimar

$h=2$  – para Distribución normal

$h= 3$ - para Distribución log- normal

$$V = 4 - 2 - 1 = 1$$

Nivel de significancia ( $\alpha$ )

$$\alpha = 5\% = 0,05$$

$V = 1$  } de tabla de anexo A-4-4-1.encontramos  
 $\alpha = 0,05$  }  $X^2 = 3,84$

### Criterio de Decisión

$Xc^2 \leq X^2$  el ajuste es bueno

$Xc^2 > X^2$  el ajuste es malo

$$0,67 \leq 3,84 \quad \text{“ok” buen ajuste}$$

### Cálculo del nivel de confianza

Media y desviación estándar de los valores no agrupados

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 6,83$$

Desviación estándar:

$$S_{X=} = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S_x = 0,16$$

Para la resistencia mayor:

$$Z = \frac{X_{max} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{7,23 - 6,83}{0,16} = 2,52$$

De. Tabla de anexo A-4-4-3 de distribución normal obtenemos

$$F_1 = 0,9943$$

Para la resistencia menor:

$$Z = \frac{X_{min} - \bar{X}}{S_X}$$

$$Z = \frac{6,53 - 6,83}{0,16} = -1,90$$

De tabla de anexo A-4-4-2 de distribución normal obtenemos

$$F_2 = 0,0287$$

Nivel de confianza:

$$NC = F_1 - F_2 = 0,9943 - 0,0287 = 0,966 * 100 = 96,6\%$$

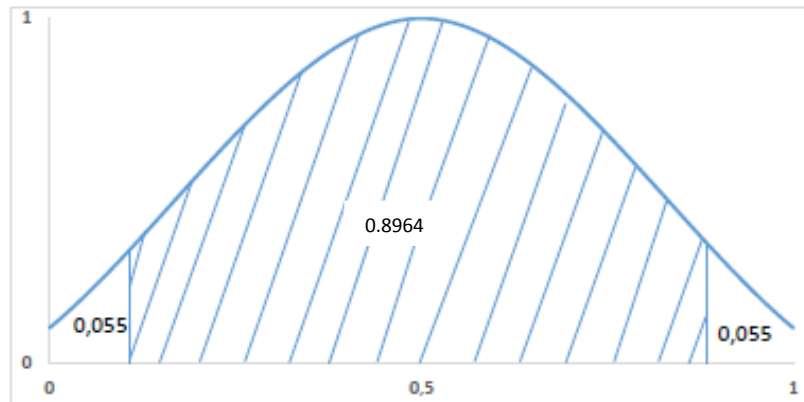
Cálculo del límite superior e inferior:

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$E = Z * S_X$$

Obtención de Z con NC= 0,966

### CURVA DISTRIBUCIÓN NORMAL



$0.966 + 0,055 = 0.911$  Dato para entrar a tabla

De tabla de anexo A-4-4-3. de distribución normal obtenemos  $Z = 1,35$

Entonces

$$E = Z * S_X$$

$$E = 1,35 * 0,16 = 0,542$$

$$X = \bar{X} \pm E$$

$$X = 6,83 \pm 0,0542$$

Cálculo en porcentaje de límite superior e inferior:

$$E_p = \frac{E}{\bar{X}} * 100$$

$$E_p = \frac{0.0542}{6,83} * 100$$

$$E_p = \pm 7,93\%$$

Se determinó el nivel de confianza para la adherencia de los tres diseños, agrupándolos en forma separada, grupo de briquetas secas y grupo de briquetas húmedas.

Para el diseño de adherencia del grupo seco de la chancadora Garzón es de 94,41% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. De igual manera se obtuvo el límite superior e inferior  $\mp 0,775$ , que corresponde al 11%, para el grupo húmedo es de 89,64% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. De igual manera se obtuvo el límite superior e inferior  $\mp 0,4316$ , que corresponde al 7,33%.

En el diseño de adherencia del grupo seco de la chancadora Erika se obtuvo de 87,2% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. De igual manera se obtuvo el límite superior e inferior  $\mp 0,384$ , que corresponde al 5,69%, para el grupo húmedo es de 85,7% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. De igual manera se obtuvo el límite superior e inferior  $\mp 0,0945$ , que corresponde al 15,3%.

Y para el diseño de adherencia del grupo seco de la chancadora SEDECA se obtuvo de 93,3% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. De igual manera se obtuvo el límite superior e inferior  $\mp 0,549$ , que corresponde al 8,13%, para el grupo húmedo es de 96,6% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. De igual manera se obtuvo el límite superior e inferior  $\mp 0,0542$ , que corresponde al 7,93%.

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

Analizando éstos 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 adherencia entre el agregado triturado y el cemento asfáltico, 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 al cumplir las mezclas asfálticas calientes con una buena adherencia entre sus componentes: agregado y cemento asfáltico, la mezcla será más resistentes a los efectos climáticos, de humedad y se podrá disminuir de gran forma las fallas estructurales y superficiales de la carpeta asfáltica.

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 los tres diseños son adecuados para la fabricación de firmes en nuestro medio por poseer buenas propiedades y tener excelentes ventajas.

#### 4.12. Validación de hipótesis

##### Chancadora Garzón

$\bar{x}$			$\mu$
87,9 %	87,1 %	88,2 %	80,0 %

##### Planteamiento de la prueba de hipótesis

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{x} < \mu \\ H_1: \bar{x} \geq \mu \end{array} \right.$$

##### Elegir el nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Determinación de la función pivotal

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 87,733$$

Desviación estándar:

$$S_{X=} = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{N-1}}$$

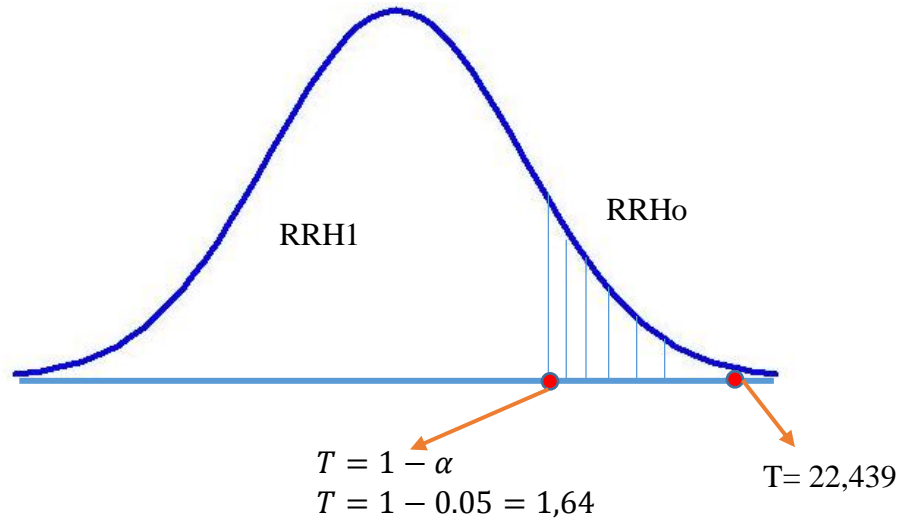
$$S_x = 0,569$$

Cálculo de la función pivotal:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

$$T = \frac{87,733 - 80}{\frac{0,569}{\sqrt{3}}} = 22,439$$

Ubicar el valor obtenido en el cálculo de la función pivotal, en la región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula  $H_0$



**Conclusión:** El valor va caer en la zona de rechazo, por lo tanto se rechaza  $H_0$  la hipótesis nula, significa que el valor estudiado ha influido significativamente en los resultados y se acepta la hipótesis alternativa  $H_1: \mu > 80\%$

**Chancadora Erika**

$\bar{x}$			$\mu$
91,5 %	92,5 %	91,7 %	80,0 %

**Planteamiento de la prueba de hipótesis**

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{x} < \mu \\ H_1: \bar{x} \geq \mu \end{array} \right.$$

**Elegir el nivel de significancia**

$$\alpha = 0.05$$

Determinación de la función pivotal

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 91,9$$

Desviación estándar:

$$S_x = \sqrt{\frac{(X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

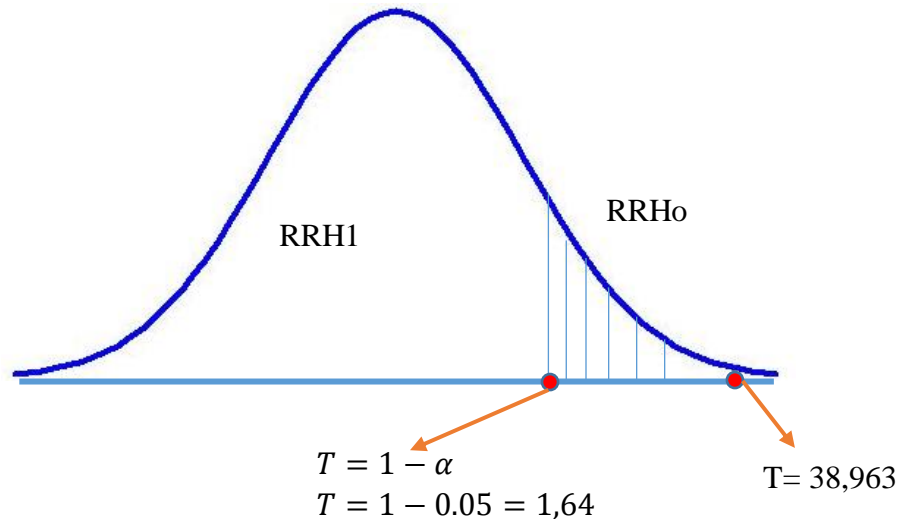
$$S_x = 0,529$$

Cálculo de la función pivotal:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

$$T = \frac{91,9 - 80}{\frac{0,529}{\sqrt{3}}} = 38,963$$

Ubicar el valor obtenido en el cálculo de la función pivotal, en la región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula  $H_0$



**Conclusión:** El valor va caer en la zona de rechazo, por lo tanto se rechaza  $H_0$  la hipótesis nula, significa que el valor estudiado ha influido significativamente en los resultados y se acepta la hipótesis alternativa  $H_1: \mu > 80\%$

$\bar{x}$		
95,6 %	94,1 %	96,5 %

$\mu$
80,0 %

### Planteamiento de la prueba de hipótesis

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{x} < \mu \\ H_1: \bar{x} \geq \mu \end{array} \right.$$

### Elegir el nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Determinación de la función pivotal

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

$$\bar{X} = 95,4$$

Desviación estándar:

$$S_{X=} \sqrt{\frac{(Xi - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S_x = 1,212$$

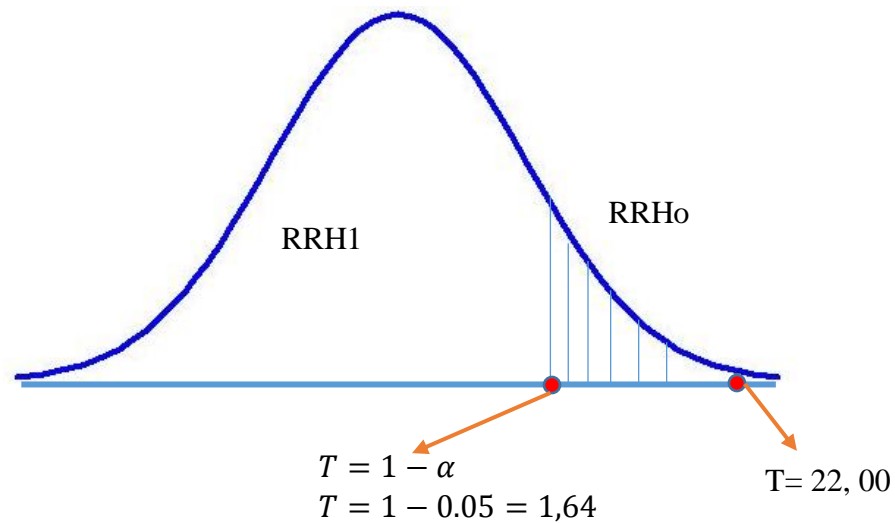
Cálculo de la función pivotal:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

$$T = \frac{95,4 - 80}{\frac{1,212}{\sqrt{3}}} = 22,00$$

Ubicar el valor obtenido en el cálculo de la función pivotal, en la región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula  $H_0$





**Conclusión:** El valor va caer en la zona de rechazo, por lo tanto se rechaza  $H_0$  la hipótesis nula, significa que el valor estudiado ha influido significativamente en los resultados y se acepta la hipótesis alternativa  $H_1: \mu > 80\%$

Realizando la prueba de hipótesis los resultados de las tres chancadoras: Garzón, Erika y SEDECA es válida la hipótesis.

**“Si mezclamos el agregado triturado de tres bancos diferentes, con cemento asfáltico 85-100, se obtendrá tres tipos diferentes de mezcla asfáltica caliente, donde se elaborará briquetas, se realizarán pruebas con el ensayo de tracción indirecta, para conocer y comparar su adherencia de cada mezcla, que servirá para un análisis de resultados confiables que cumpla con las propiedades de adherencia.”**

La adherencia de los resultados obtenidos de los cálculos realizados partiendo del % óptimo de asfalto de cada diseño se observa que éstos están dentro de los parámetros establecidos según bibliografía que indica que para que una mezcla asfáltica caliente tenga buena adherencia debe estar por encima del 80%. De manera visual también se puede hacer un análisis de las briquetas, donde se puede ver cómo está cubierto el agregado triturado por el cemento asfáltico, en el grupo de las briquetas húmedas las cuales pasan por un proceso de congelamiento, de humedad, se puede observar el daño que provoca la humedad en su interior de la briketa si esta no cumple con el rango de 3 – 5% de vacíos que deben cumplir las mezclas asfálticas.

#### 4.13. Como se aplicaría el método de tracción indirecta para determinar la adherencia entre cemento asfáltico y agregado triturado

##### 4.13.1. Determinación de costos de cada diseño

ÍTEM N°: 1

UNIDAD: m<sup>3</sup>

**ACTIVIDAD:** Mezcla asfáltica con agregado triturado de la chancadora Garzón

La dosificación será calculada para 1 metro cúbico de mezcla asfáltica

##### Agregado triturado para la mezcla

Grava 3/4"=	25.0%
Gravilla 3/8"=	25.0%
Arena=	50.0%

Para el cemento asfáltico se debe de calcular su cantidad necesaria expresada en

Según la norma ASTM -D071 la densidad del cemento asfáltico esta entre 0.98 gr/cm<sup>3</sup> y 1.06 gr/cm<sup>3</sup>

Se toma 1,005 gr/cm<sup>3</sup> como densidad del cemento asfáltico.

Material	%	gramos	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
cemento asfaltico 85-100	5,40	132531,66	131872,30	0,13
Grava 3/4"	25,00	613572,50	229802,43	0,23
Gravilla 3/8"	25,00	613572,50	230666,35	0,23
Arena	50,00	1227145,00	454498,15	0,45
TOTAL	105,40	2586821,66	1046839,23	1,05

**Tabla 4.20:** Rendimiento de materiales para mezcla 1

Rendimiento de materiales para todo el Ítem	
Cemento asfáltico	0.13 m <sup>3</sup>
Grava 3/4" triturada	0.23 m <sup>3</sup>
Gravilla 3/8" triturada	0.23 m <sup>3</sup>
Arena	0.45 m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla 4.21: Costo de mezcla asfáltica chancadora Garzón

Proyecto de Grado A1:F36				Actividad	1
<b>DATOS GENERALES:</b>					
<b>Actividad:</b>	Mezcla Asfáltica con agregado triturado de la chancadora Garzón				
<b>Cantidad:</b>	1				
<b>Unidad:</b>	m <sup>3</sup>				
<b>Moneda:</b>	Bs.				
<b>1. Materiales</b>					
N°	Descripción	Unidad	Rendimiento	Precio unitario	Costo total
1	Cemento asfáltico (85-100)	Kg.	132,53	10,70	1418,09
2	Grava 3/4 triturada	m <sup>3</sup>	0,23	130,00	29,87
3	Gravilla 3/4 triturada	m <sup>3</sup>	0,23	150,00	34,60
4	Arena	m <sup>3</sup>	0,45	125,00	56,81
5	Diesel	L	10,00	3,74	37,40
<b>Total de material</b>					<b>1576,78</b>
<b>2. Mano de obra</b>					
1	Ayudante de operador	Hra.	0,03	12,07	0,34
2	Capataz A	Hra.	1,80	17,95	32,31
3	Operador A	Hra.	0,82	17,95	14,72
4	Operador de equipo liviano	Hra.	0,08	15,37	1,26
5	Operador de planta	Hra.	0,09	23,19	2,09
6	Obrero A	Hra.	0,07	12,07	0,87
7	Chofer A	Hra.	0,00	15,37	0,02
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>51,60</b>
Cargas Sociales = (55% del subtotal de la mano de obra)				71,18	36,73
Impuestos IVA mano de obra = (14,94% de Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,94	13,20
<b>Total mano de obra</b>					<b>101,52</b>
<b>3. Equipo, maquina y herramienta</b>					
1	Compactador rodillo liso	Hra.	0,04	303,85	10,63
2	Escoba mecánica autop.	Hra.	0,03	71,55	2,00
3	Planta calentamiento de asfalto	Hra.	0,09	965,23	86,87
4	Compactador de rodillo neumático tsp	Hra.	0,08	332,81	27,96
5	Terminadora de asfalto	Hra.	0,08	669,06	50,18
6	Cargador frontal de ruedas >=950 m3	Hra.	0,00	421,29	0,04
7	Volquete >=12m3	Hra.	0,00	227,87	0,23
Herramientas =(5% del total de mano de obra)				5,00	5,08
<b>Total equipo, maquina y herramientas</b>					<b>182,99</b>
<b>4. Gastos generales y administrativos</b>					
Gastos generales y administrativos = 10% de 1+2+3				10,00	186,13
<b>Total gastos generales y administrativos</b>					<b>186,13</b>
<b>5. Utilidad</b>					
Utilidad= 10% de 1+2+3+4				10,00	204,74
<b>total utilidad</b>					<b>204,74</b>
<b>6. Impuestos</b>					
Impuestos IT= 3,9% de 1+2+3+4+5				3,09	69,59
<b>Total de impuestos</b>					<b>69,59</b>
<b>Precio total de IITEM (1+2+3+4+5+6)</b>					<b>2321,75</b>

Fuente: Elaboración propia

**ÍTEM N°: 2****UNIDAD: m<sup>3</sup>****ACTIVIDAD:** Mezcla Asfáltica con Agregado Triturado de la Chancadora Erika

La dosificación será calculada para 1 metro cúbico de mezcla asfáltica

**Agregado triturado para la mezcla**

Grava 3/4" = 32,0%

Gravilla 3/8"= 20,0%

Arena = 48,0%

Para el cemento asfáltico se debe de calcular su cantidad necesaria expresada en

Según la norma ASTM -D071 la densidad del cemento asfáltico esta entre 0.98 gr/cm<sup>3</sup> y 1.06 gr/cm<sup>3</sup>Se toma 1,005 gr/cm<sup>3</sup> como densidad del cemento asfáltico.

Material	%	gramos	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Cemento asfaltico 85-100	5,60	137440,24	136756,46	0,14
Grava 3/4"	32,00	785372,80	294147,12	0,29
Gravilla 3/8"	20,00	490858,00	184533,08	0,18
Arena	48,00	1178059,20	436318,22	0,44
TOTAL	105,60	2591730,24	1051754,88	1,05

**Tabla 4.22:** Rendimiento de materiales para mezcla 2

<b>Rendimiento de materiales para todo el Ítem</b>	
Cemento asfáltico	0,14 m <sup>3</sup>
Grava 3/4" triturada	0,29 m <sup>3</sup>
Gravilla 3/8" triturada	0,18 m <sup>3</sup>
Arena	0,44 m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla 4.23: Costo de mezcla asfáltica chancadora Erika

Proyecto de Grado				Actividad	2
<b>DATOS GENERALES:</b>					
Actividad:	Mezcla Asfáltica con agregado triturado de la chancadora Erika				
Cantidad:	1				
Unidad:	m <sup>3</sup>				
Moneda:	Bs.				
<b>1. Materiales</b>					
N°	Descripción	Unidad	Rendimiento	Precio unitario	Costo total
1	Cemento asfáltico (85-100)	Kg.	137,44	10,70	1470,61
2	Grava 3/4 triturada	m <sup>3</sup>	0,29	130,00	38,24
3	Gravilla 3/4 triturada	m <sup>3</sup>	0,18	150,00	27,68
4	Arena	m <sup>3</sup>	0,44	125,00	54,54
5	Diesel	L	10,00	3,74	37,40
<b>Total de material</b>					<b>1628,47</b>
<b>2. Mano de obra</b>					
1	Ayudante de operador	Hra.	0,03	12,07	0,34
2	Capataz A	Hra.	1,80	17,95	32,31
3	Operador A	Hra.	0,82	17,95	14,72
4	Operador de equipo liviano	Hra.	0,08	15,37	1,26
5	Operador de planta	Hra.	0,09	23,19	2,09
6	Obrero A	Hra.	0,07	12,07	0,87
7	Chofer A	Hra.	0,00	15,37	0,02
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>51,60</b>
Cargas Sociales = (55% del subtotal de la mano de obra)				71,18	36,73
Impuestos IVA mano de obra = (14,94% de Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,94	13,20
<b>Total mano de obra</b>					<b>101,52</b>
<b>3. Equipo, maquina y herramienta</b>					
1	Compactador rodillo liso	Hra.	0,04	303,85	10,63
2	Escoba mecánica autop.	Hra.	0,03	71,55	2,00
3	Planta calentamiento de asfalto	Hra.	0,09	965,23	86,87
4	Compactador de rodillo neumático tsp	Hra.	0,08	332,81	27,96
5	Terminadora de asfalto	Hra.	0,08	669,06	50,18
6	Cargador frontal de ruedas >=950 m3	Hra.	0,00	421,29	0,04
7	Volquete >=12m3	Hra.	0,00	227,87	0,23
Herramientas =(5% del total de mano de obra)				5,00	5,08
<b>Total equipo, maquina y herramientas</b>					<b>182,99</b>
<b>4. Gastos generales y administrativos</b>					
Gastos generales y administrativos = 10% de 1+2+3				10,00	191,30
<b>Total gastos generales y administrativos</b>					<b>191,30</b>
<b>5. Utilidad</b>					
Utilidad= 10% de 1+2+3+4				10,00	210,43
<b>total utilidad</b>					<b>210,43</b>
<b>6. Impuestos</b>					
Impuestos IT= 3,9% de 1+2+3+4+5				3,09	71,52
<b>Total de impuestos</b>					<b>71,52</b>
<b>Precio total de ITEM (1+2+3+4+5+6)</b>					<b>2386,23</b>

Fuente: Elaboración propia

**ÍTEM N°: 3****UNIDAD: m<sup>3</sup>****ACTIVIDAD:** Mezcla Asfáltica con Agregado Triturado de la Chancadora SEDECA

La dosificación será calculada para 1 metro cúbico de mezcla asfáltica

**Agregado triturado para la mezcla**

Grava 3/4" =	18,0%
Gravilla 3/8" =	23,8%
Arena =	58,2%

Para el cemento asfáltico se debe de calcular su cantidad necesaria expresada en

Según la norma ASTM -D071 la densidad del cemento asfáltico esta entre 0.98 gr/cm<sup>3</sup> y 1.06 gr/cm<sup>3</sup>Se toma 1,005 gr/cm<sup>3</sup> como densidad del cemento asfáltico.

Material	%	gramos	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
cemento asfaltico 85-100	5,74	140876,25	140175,37	0,14
Grava 3/4"	18,00	441772,20	165457,75	0,17
Gravilla 3/8"	23,80	584121,02	219594,37	0,22
Arena	58,20	1428396,78	529035,84	0,53
TOTAL	105,74	2595166,25	1054263,33	1,05

**Tabla 4.24:** Rendimiento de materiales para mezcla 3

<b>Rendimiento de materiales para todo el Ítem</b>	
Cemento asfáltico	0,14 m <sup>3</sup>
Grava 3/4" triturada	0,17 m <sup>3</sup>
Gravilla 3/8" triturada	0,22 m <sup>3</sup>
Arena	0,53 m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla 4.25: Costo de mezcla asfáltica chancadora SEDECA

Proyecto de Grado				Actividad	3
<b>DATOS GENERALES:</b>					
<b>Actividad:</b>	Mezcla Asfáltica con agregado triturado de la chancadora SEDECA				
<b>Cantidad:</b>	1				
<b>Unidad:</b>	m <sup>3</sup>				
<b>Moneda:</b>	Bs.				
<b>1. Materiales</b>					
N°	Descripción	Unidad	Rendimiento	Precio unitario	Costo total
1	Cemento asfáltico (85-100)	Kg.	140,88	10,70	1507,38
2	Grava 3/4 triturada	m <sup>3</sup>	0,17	130,00	21,51
3	Gravilla 3/4 triturada	m <sup>3</sup>	0,22	150,00	32,94
4	Arena	m <sup>3</sup>	0,53	125,00	66,13
5	Diesel	L	10,00	3,74	37,40
<b>Total de material</b>					<b>1665,35</b>
<b>2. Mano de obra</b>					
1	Ayudante de operador	Hra.	0,03	12,07	0,34
2	Capataz A	Hra.	1,80	17,95	32,31
3	Operador A	Hra.	0,82	17,95	14,72
4	Operador de equipo liviano	Hra.	0,08	15,37	1,26
5	Operador de planta	Hra.	0,09	23,19	2,09
6	Obrero A	Hra.	0,07	12,07	0,87
7	Chofer A	Hra.	0,00	15,37	0,02
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>51,60</b>
Cargas Sociales = (55% del subtotal de la mano de obra)				71,18	36,73
Impuestos IVA mano de obra = (14,94% de Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,94	13,20
<b>Total mano de obra</b>					<b>101,52</b>
<b>3. Equipo, maquina y herramienta</b>					
1	Compactador rodillo liso	Hra.	0,04	303,85	10,63
2	Escoba mecánica autop.	Hra.	0,03	71,55	2,00
3	Planta calentamiento de asfalto	Hra.	0,09	965,23	86,87
4	Compactador de rodillo neumático tsp	Hra.	0,08	332,81	27,96
5	Terminadora de asfalto	Hra.	0,08	669,06	50,18
6	Cargador frontal de ruedas >=950 m3	Hra.	0,00	421,29	0,04
7	Volquete >=12m3	Hra.	0,00	227,87	0,23
Herramientas =(5% del total de mano de obra)				5,00	5,08
<b>Total equipo, maquina y herramientas</b>					<b>182,99</b>
<b>4. Gastos generales y administrativos</b>					
Gastos generales y administrativos = 10% de 1+2+3				10,00	194,99
<b>Total gastos generales y administrativos</b>					<b>194,99</b>
<b>5. Utilidad</b>					
Utilidad= 10% de 1+2+3+4				10,00	214,49
<b>total utilidad</b>					<b>214,49</b>
<b>6. Impuestos</b>					
Impuestos IT= 3,9% de 1+2+3+4+5				3,09	72,90
<b>Total de impuestos</b>					<b>72,90</b>
<b>Precio total de ITEM (1+2+3+4+5+6)</b>					<b>2432,24</b>

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis de costo**

En las planillas anteriores de cálculos y resultados de los costos para cada uno de los diseños se observa que la mezcla con agregado de la chancadora Garzón con un precio de 2321,75 bs el m<sup>3</sup>, es la más económica en comparación a las otras dos mezclas, pero no su agregado triturado no es de buena calidad, sus valores de adherencia si cumplen pero son los más bajos de las 3 mezclas.

#### **4.13.2. Especificación técnica:**

##### **Materiales:**

##### **Cemento asfáltico**

Los cemento asfáltico 85-100 fresco, de primera calidad procedente de industria Brasileira cumpliendo las normas establecidas de especificaciones técnicas.

El almacenamiento del cemento asfáltico tiene que ser en un ambiente cerrado y seco, cubierto para evitar que se pueda contaminar con el polvo del ambiente, hasta la conclusión del trabajo de investigación.

Todo cemento asfáltico utilizado para los ensayos de caracterización o este alterado se lo debe ser desechar en algún depósito.

##### **Agregados**

##### **Arena triturada**

La arena proveniente de los ríos: Sella, Guadalquivir y Camacho será trituradas en las chancadoras: Garzón, Erika y SEDECA, donde pasan por diferentes procesos en la chancadora hasta obtener una arena triturada.

La arena triturada deberá presentar características granulométricas que garanticen las especificaciones requeridas para una mezcla asfáltica.



## Piedra triturada

La piedra proveniente de los ríos: Sella, Guadalquivir y Camacho será triturada en las chancadoras: Garzón, Erika y SEDECA, donde pasa por diferentes procesos en la chancadora hasta obtener una piedra triturada.

Para la selección de las chancadoras productoras se realizó una selección de piedra triturada sea sana, limpia, libre de impurezas y sin exceso de finos. Deberá usarse este material del tamaño adecuado para cada estructura de una mezcla asfáltica. La composición granulométrica será variada, según especificaciones para cada caso.

## Estructura de la mezcla asfáltica:

### Alcance

Esta especificación abarca lo concerniente a provisión de materiales, su preparación y colocación para ejecutar estructuras de una mezcla asfáltica de acuerdo a la estructura de una carretera.

### Normas y códigos

Todos los ensayos de caracterización del agregado triturado y cemento asfáltico se realizaron de acuerdo a la norma ASTM para mezclas asfálticas caliente.

### Materiales

En la preparación de la mezcla asfáltica se dio preferencia a la utilización de material agregado triturado.

### Características:

Para el agregado triturado:

Ensayos	Especificación		Resultado			Norma
	Mín.	Máx.	Garzón	Erika	SEDECA	
Densidad aparente grava suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,440	1,365	1,420	ASTM C-29
Densidad aparente grava compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,502	1,441	1,474	ASTM C-29

Densidad aparente gravilla suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,450	1,360	1,330	ASTM C-29
Densidad aparente gravilla compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,518	1,421	1,459	ASTM C-29
Densidad aparente arena suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,683	1,662	1,690	ASTM C-29
Densidad aparente arena compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	1,794	1,778	1,806	ASTM C-29
Peso específico de agregado grueso (gr/cm <sup>3</sup> )	2.35	2.75	2,66	2,65	2,66	ASTM D-127
Absorción de agregado grueso (%)	-----	3	1,98	1,63	2,69	ASTM D-127
Peso específico de agregado fino (gr/cm <sup>3</sup> )	2.21	2.70	2,69	2,68	2,64	ASTM D-128
Absorción de agregado Fino (%)	-----	2	1,02	2,01	1,02	ASTM D-128
Abrasión de gruesos 3/4 (%)	-----	40	26,87	29,76	21,11	ASTM C-131
Abrasión de gruesos 3/8 (%)	-----	40	25,16	27,88	20,88	ASTM C-131
Equivalente de la arena (%)	50	-----	56,68	55,69	52,40	ASTM D-2419
Durabilidad método de sulfatos	-	12	5,08	6,39	3,71	ASTM C-88
% de caras fracturadas en grueso 3/4"	75	-----	80,4	85,0	95,6	ASTM D 5821-95
% de caras fracturadas en grueso 3/8"	75	-----	75,1	76,0	94,0	ASTM D 5821-95

Para el cemento asfáltico 85-100:

Ensayos	85-100		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	1	1,05	1,005	ASTM D-70
Penetración muestra original (25 °C, 100gr, 5s)mm/10	85	100	89	ASTM D-5
Punto de inflamación, copa Cleveland, °C	232	-----	297	ASTM D-1310-01
Punto de ablandamiento °C	42	53	45.67	ASTM D-36
Pérdida de masa (%)	-----	1	0,45	ASTM D-2872

### Dosificación de la mezcla asfáltica

Para establecer la dosificación de la mezcla asfáltica para el cemento asfáltico y agregado triturado se realiza los ensayos de caracterización del cemento asfáltico y del agregado triturado, resultados que se encuentran en las tablas anteriores, con objeto de conseguir que la mezcla asfáltica cumpla con la adherencia.

Para la chancadora Garzón:

Grava: 20 %

Gravilla: 30 %

Arena: 50 %

% óptimo de asfalto = 5,65 %

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% ret. tamiz	5,65 %	
				P. parcial	P. acumulado
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	97,90	2,15	2,10	23,40	23,41
1/2"	85,15	14,92	12,91	145,85	169,23
3/8"	71,42	28,63	13,62	154,11	323,34
Nº4	51,63	48,48	19,87	224,42	547,87
Nº10	39,15	60,94	12,61	142,31	690,02
Nº16	33,52	66,56	5,53	62,73	752,76
Nº40	17,21	82,82	16,32	184,32	937,01
Nº80	11,83	88,21	5,43	61,50	998,50
Nº200	5,55	94,52	6,34	71,37	1069,80
Filler	0,00	100,00	5,50	62,45	1132,20
Peso Total=				1132,20	

Peso muestra=	1132,20 gr.
Peso asfalto=	67,80 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

Para la chancadora Erika:

Grava: 32 %

Gravilla: 20 %

Arena: 48 %

% óptimo de asfalto = 5,60 %

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% ret. Tamiz	5,60 %	
				P. parcial	P. acumulado
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	99,91	0,12	0,12	0,81	0,81
1/2"	85,82	14,24	14,17	159,63	160,52
3/8"	75,58	24,53	10,43	117,45	277,91
Nº4	52,44	47,67	23,14	261,42	539,43
Nº10	40,13	59,91	12,35	138,91	678,34
Nº16	34,05	66,00	6,26	69,82	748,11
Nº40	16,44	83,61	17,61	199,33	947,42
Nº80	10,86	89,22	5,60	62,94	1010,31
Nº200	6,72	93,33	4,10	47,00	1057,23
Filler	0,00	100,00	6,71	75,61	1132,80
Peso total=				1132,80	

Peso muestra=	1132,80 gr.
Peso asfalto=	67,20 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

Para la chancadora SEDECA:

Grava: 25 %

Gravilla: 25 %

Arena: 50 %

% óptimo de asfalto = 5,74 %

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% ret. Tamiz	5,74 %	
				P. parcial	P. acumulado
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	98,71	1,31	1,31	14,21	14,21
1/2"	82,03	18,02	16,72	189,53	203,73
3/8"	76,94	23,13	5,13	57,14	260,81
Nº4	54,22	45,81	22,81	257,42	518,10
Nº10	40,36	59,74	13,94	156,76	674,93
Nº16	32,61	67,42	7,72	87,55	762,41
Nº40	15,73	84,33	16,91	190,72	953,12
Nº80	12,12	87,95	3,62	40,74	993,83
Nº200	7,42	92,61	4,73	53,63	1047,44
Filler	0,00	100,00	7,41	83,71	1131,10
Peso Total=				1131,10	

Peso muestra=	1131,10 gr.
Peso asfalto=	68,90 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,00 gr.

### Mezclado

El mezclado se realiza de manera manual, con ayuda de una bandeja donde se pesa la dosificación del agregado y el % óptimo cemento asfáltico según corresponda su dosificación de cada chancadora, se coloca a una hornalla a fuego regular, y con una cuchara se va mezclando con mucho cuidado respectivamente con guantes para evitar algún accidente, se mezcla hasta la se vea que el agregado quede impregnado del cemento asfáltico.

Después se controla que la temperatura este a 135 °C para ser retirada la mezcla del fuego y luego ser compactada.

### **Compactación**

Se utiliza moldes cilíndricos metálicos de dimensiones especificadas en la norma, se los coloca por un lapso de tiempo en el horno para que también estén a temperatura de la mezcla, luego se coloca alrededor aceite y papel de filtro en la parte posterior y anterior del molde.

Se vierte toda la mezcla dentro del molde, se compacta a 75 golpes por cada cara de la briqueta.

Se deja enfriar por una hora para recién desmoldar la briqueta.

### **Proceso de preparación de las briquetas**

Una vez que se tenga todas las briquetas en este caso 18 briquetas para cada chancadora, se separa en dos grupos; en grupo seco y grupo húmedo, se procede a medir con un vernier la altura, el diámetro de cada briqueta.

El grupo húmedo pasa por un proceso de congelamiento a una temperatura de -5 °C por 16 horas, cumpliendo las 16 horas de congelamiento se coloca en mismo de grupo de briquetas húmedas a un baño maría a 60 °C durante 24 horas, controlando cada hora la temperatura que se constante con la ayuda de un termómetro. Como proceso final se coloca los 2 grupos de briquetas las húmedas y secas a baño maría a 25 °C por el tiempo de 2 horas.

### **Equipos de medición**

El equipo de medición que se utilizará será el equipo de Tracción Indirecta que está compuesto por prensa Marshall y se utiliza una mordaza de corte diametral.

Se coloca la briqueta dentro de la mordaza, se la introduce a la prensa Marshall y se aplica una carga que provocará un corte diametral que la partirá en dos a la misma.

Se registra ese valor de la carga, conjuntamente con los datos de altura y diámetro se aplica a una fórmula empírica para calcular a la resistencia a la tensión que será igual a l valor de la adherencia.

## Control de adherencia

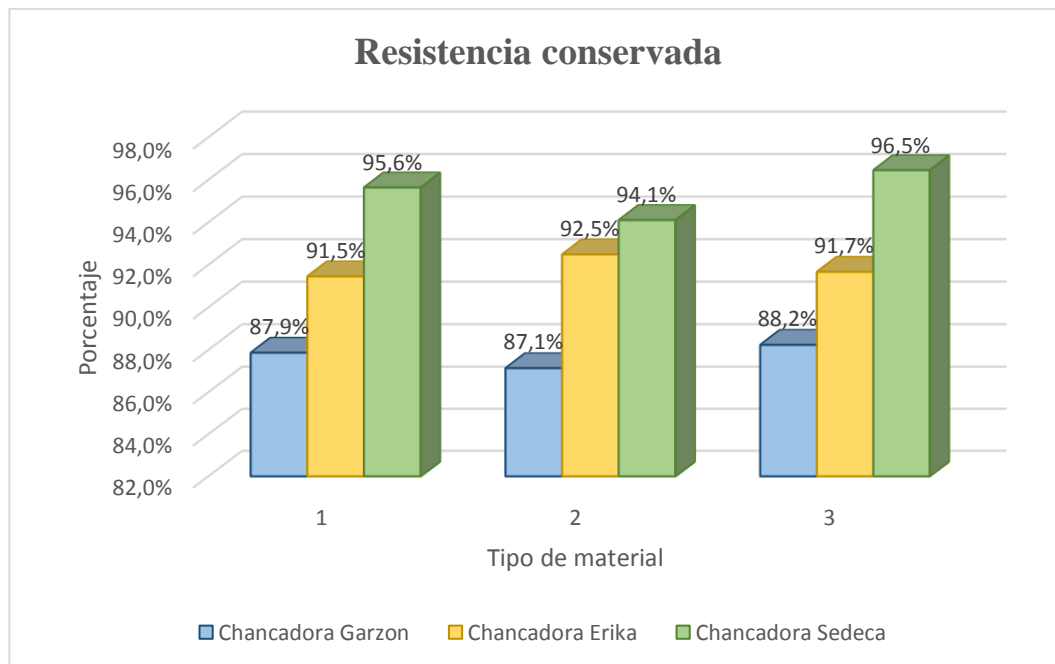
El control de adherencia se lo puede realizar de dos formas: una visual y la otra obteniendo el valor de la resistencia por la fórmula empírica.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de adherencia obtenidos para cada chancadora:

N°	Chancadora Garzón			Chancadora Erika			Chancadora SEDECA		
	Grupo secas	Grupo húmedas	R <sub>RT</sub>	Grupo secas	Grupo húmedas	R <sub>RT</sub>	Grupo secas	Grupo húmedas	R <sub>RT</sub>
	Promedio	Promedio		Promedio	Promedio		Promedio	Promedio	
1	6,82	6,02	88,2%	6,73	6,16	91,5%	7,16	6,85	95,6%
2	6,84	6,01	88,0%	6,69	6,20	92,8%	7,25	6,89	95,0%
3	6,83	6,00	87,9%	6,66	6,18	92,9%	7,10	6,85	96,5%
4	6,85	6,04	88,1%	6,69	6,14	91,7%	7,27	6,85	94,1%
5	6,88	5,99	87,1%	6,67	6,09	91,4%	7,07	6,69	94,7%

Fuente: Elaboración propia

### Gráfica de comparación entre las 3 Mezclas



## CAPÍTULO V

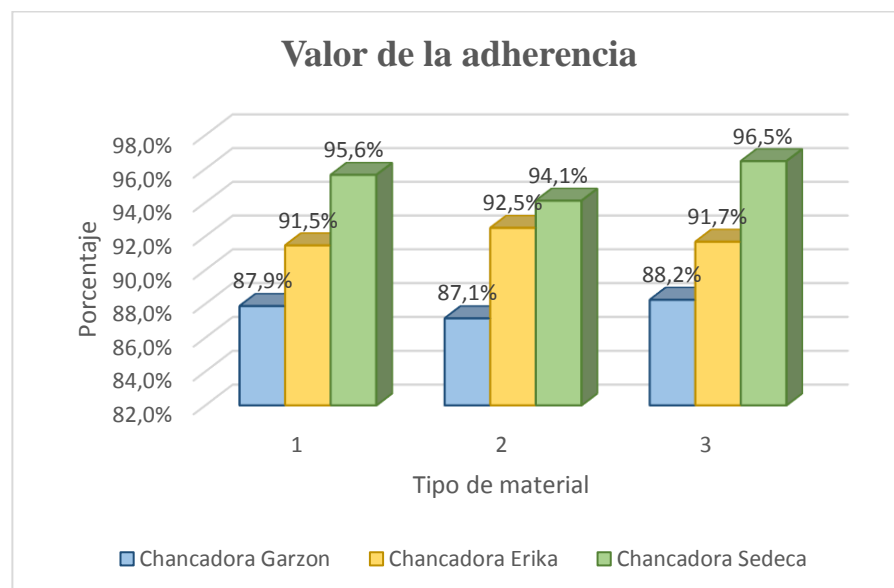
### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

##### Conclusiones

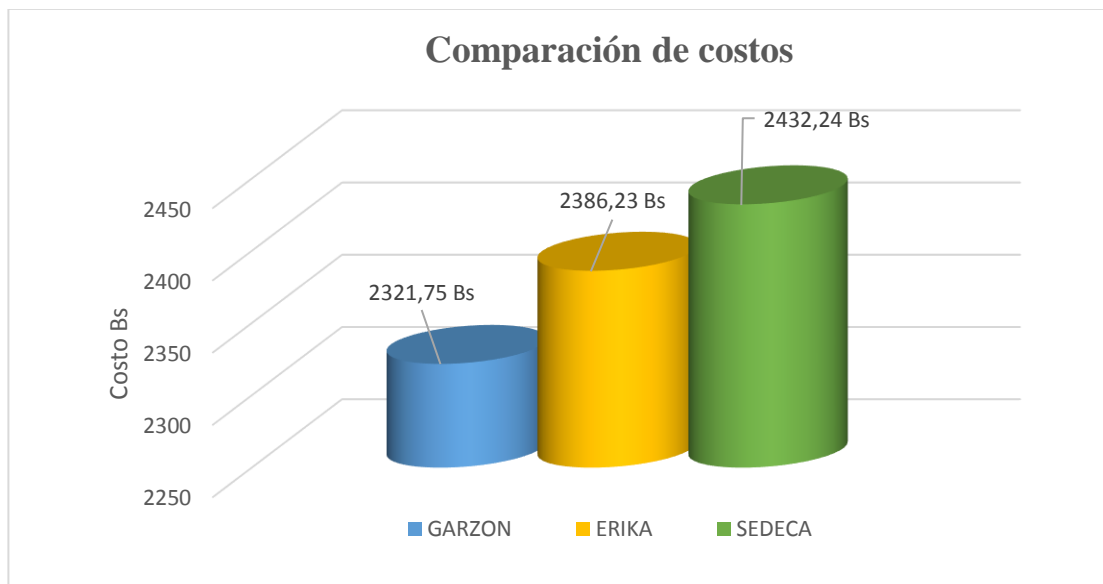
En base a los resultados obtenidos y análisis realizados se concluye:

- La adherencia árido cemento asfáltico en una mezcla asfáltica en caliente, es importante considerarla en el momento de la envuelta producida en el tambor secador y en la adición del asfalto. Esta adherencia pondrá en juego las variables enumeradas, tales como características generales de los áridos, del asfalto y temperatura de proceso.
- Con los ensayos y análisis realizados a las mezclas asfálticas mediante el ensayo de Tracción Indirecta se demostró el valor de la adherencia entre el cemento asfáltico y en el agregado de la chancadora Garzón = 87, 9%, 87,1%, 88,2%. chancadora Erika = 91,5%, 92,5%, 91,7%. y chancadora SEDECA = 95,6%, 94,1%, 96,5%, siendo evidente que material de la chancadora Garzón presenta el valor más bajo a comparación de los otros dos materiales, debido al proceso de trituración y la presencia de impurezas, pero si está por encima del 80%, las tres mezclas cumplen con las especificaciones de la norma AASHTO T-283, para su uso en la construcción de carreteras.





- Se comprueba visualmente que los agregados triturados presentan una buena adherencia con el cemento asfáltico, dado que al ser fallado por tracción indirecta se observa que las gravas se fracturan efectivamente por la carga ejercida sobre la briqueta, pero no presentan desprendimiento con el cemento asfáltico y el material queda adherido.
- Por otra parte las gravas de la chancadora SEDECA presentan mayor porcentaje de caras fracturadas, mientras que la grava de la chancadora Garzón tiende a ser redondeadas, pues de su geometría depende en gran medida el valor que el valor de la adherencia o resistencia conservada cumpla la especificación de la norma.
- Según lo calculado y analizado partiendo desde el % óptimo de asfalto y sus diversos porcentajes de agregado se pudo calcular el costo de las mezclas para un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica, obteniendo resultados para el Mezcla 1 agregado Garzón=2321,75 Bs, Mezcla 2 agregado Erika= 2386,23 Bs, Mezcla 3 agregado SEDECA=2432,24 Bs. Siendo la más económica la Mezcla 1, pero de mejor calidad es la Mezcla 3 aunque su precio sea un poco más elevado.



- Se comprobó que los agregados empleados para la dosificación de la mezcla asfáltica en estudio con material proporcionado de la planta de agregados "Garzón, Erika y SEDECA" 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 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.
- Hoy en día con el uso de las nuevas tecnologías y la necesidad de disminuir las fallas que presenta las carreteras obliga a estudiar o brindar una nueva alternativa de ensayo de control de Adherencia mediante el ensayo de tracción indirecta.
- Según lo estudiado en la bibliografía en nuestro país Bolivia aún no se utilizó mucho este método de tracción indirecta y se tiene poco conocimiento de este ensayo para verificar y controlar la adherencia de agregado y cemento asfáltico de mezclas asfálticas 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 análisis de control de adherencia entre el cemento asfáltico y agregado triturado.

Afirmando de esta manera que el material agregado triturado de las chancadoras Garzón, Erika y SEDECA son aptos para la fabricación de mezclas asfálticas calientes, 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 solucionar las fallas que presentan los pavimentos en las carreteras por falta de control en su fabricación hace que el presente trabajo implemente un nuevo ensayo de tracción indirecta para controlar la adherencia entre el cemento asfáltico y agregado triturado. 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 análisis de control de adherencia de las mezclas asfálticas caliente se debe cumplir con sus criterios establecidos en la bibliografía, su adherencia debe ser mayor al 80%, la fluencia entre 8" a 14". y la estabilidad debe ser mayor a 1800 lb condiciones para un tráfico pesado.
- Se hace indispensable contar con equipos de alta tecnología para calentamiento, mezclado y compactación de mezclas asfálticas calientes 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 al momento de manipular la mezcla como ser los entre los más relevantes quemaduras, esto porque se realizan los ensayos a altas temperaturas que sobrepasan los 150 °C.

Para la fabricación de una mezcla asfáltica caliente 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.