

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

### 1.1.- INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas asumen un papel fundamental en los pavimentos flexibles no sólo por los volúmenes requeridos en su construcción, sino porque constituyen la parte más costosa de los mismos: La “fachada” que los usuarios observan cotidianamente y la superficie por la que transitan diariamente los millones de vehículos, 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 del tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

Una mezcla asfáltica, también denominada aglomerado, en general es una combinación de un ligante hidrocarbonato y agregados minerales pétreos conformados por material granular fino y grueso. Las proporciones relativas de estos minerales delimitan las propiedades físicas de la mezcla así como el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un decidido uso.

El esfuerzo que las mezclas asfálticas pueden resistir como material compuesto está dispuesto principalmente por las características del asfalto, de los agregados gruesos, agregados finos y de la interface entre éstos dos componentes. Debido a lo anterior, mezclas con diferentes calidades y agregados con diferentes tamaños pueden producir mezclas asfálticas de distintas resistencias.

El tamaño máximo del agregado afecta las propiedades importantes de una mezcla asfáltica en caliente, como dureza, estabilidad, durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al rozamiento, y resistencia a la humedad. De esta manera, la gradación es la primera consideración en un diseño de mezclas asfálticas.

Por esta razón, se deberá realizar una investigación a fin de analizar el comportamiento de la resistencia de las mezclas asfálticas en función a la variación de tamaños del agregado grueso con referencia al tamaño máximo, empleando el método Marshall.

## **1.2 Justificación**

En la actualidad la ingeniería se encuentra en constante crecimiento por lo que se desea brindar información sobre la variación de las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente con respecto al cambio de tamaño máximo del agregado grueso para futuras investigaciones.

La presente investigación está orientada para tener conocimiento del comportamiento y variación de las propiedades de resistencia en las mezclas asfálticas en caliente, ya que es necesario conocer dicho comportamiento de la mezcla para obtener los requerimientos deseados en un pavimento asfáltico.

La evaluación de uno de los componentes de la mezcla asfáltica como es el agregado grueso servirá de aporte para la región ya que los resultados que se obtendrán tendrán mayor precisión en la variación de la resistencia en las mezclas asfálticas en caliente.

Pretende mejorar la eficiencia operativa de una mezcla asfáltica optimizando el tipo de agregado y tamaño máximo para una mayor resistencia en mezclas asfálticas. Vista de esta forma una mezcla asfáltica depende de los agregados que la componen.

Profundizar el estudio de las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente ya que son estructuras cuya estabilidad depende de las características de los materiales que la componen como es el agregado grueso.

## **1.3 DISEÑO TEÓRICO**

### **1.3.1 Planteamiento del problema**

#### **1.3.1.1 Situación problemática**

La situación actual de los pavimentos flexibles en la región es crítica, ya que la mayoría de las carreteras principales y secundarias presentan deterioros debido a las fallas de resistencia de la capa asfáltica que provoca inseguridad y alerta a los usuarios.

Por este motivo es necesario una investigación y un análisis del efecto que provoca los diferentes componentes en la resistencia de una mezcla asfáltica, en este caso se vio por conveniente analizar la influencia del tamaño máximo del agregado tanto en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente mediante el método Marshall

La presente investigación pretende optimizar el tamaño máximo del agregado grueso para obtener la mayor resistencia a partir de dicho componente de mezcla asfáltica.

#### **1.3.1.2 Problema**

Cuáles son los efectos del tamaño máximo del agregado grueso en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.

#### **1.3.1.3 Objetivos**

##### **1.3.1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la influencia del tamaño máximo el agregado grueso en las propiedades de estabilidad, fluencia, densidad, y resistencia al desgaste mediante la elaboración de especímenes de mezcla asfáltica en caliente los cuáles serán diseñados mediante el método Marshall.

##### **1.3.1.3.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información bibliográfica referente a las mezclas asfálticas y la influencia de los agregados en las propiedades de resistencia de la mezcla asfáltica.

- Determinar los tamaños máximos del agregado grueso que serán empleados para la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente.
- Realizar los diferentes ensayos necesarios para la caracterización de los diferentes componentes de la mezcla asfáltica.
- Elaborar las Mezclas de prueba en el laboratorio mediante el método Marshall, de acuerdo a las proporciones de agregados y asfalto delimitados.
- Analizar los resultados de la evaluación de la influencia del tamaño máximo del agregado grueso en propiedades de resistencia de mezclas asfálticas en caliente.
- Establecer las conclusiones de la evaluación de la influencia del tamaño máximo del agregado grueso en propiedades de resistencia de mezclas asfálticas en caliente.
- Instituir las recomendaciones de la evaluación de la influencia del tamaño máximo del agregado grueso en propiedades de resistencia de mezclas asfálticas en caliente.

#### **1.3.1.4 Hipótesis**

Si se varía el tamaño máximo del agregado grueso entonces presentará una variación en las propiedades de estabilidad, fluencia, densidad y resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente.

#### **1.3.1.5 Definición de variables independientes y dependientes**

##### **Variable dependiente**

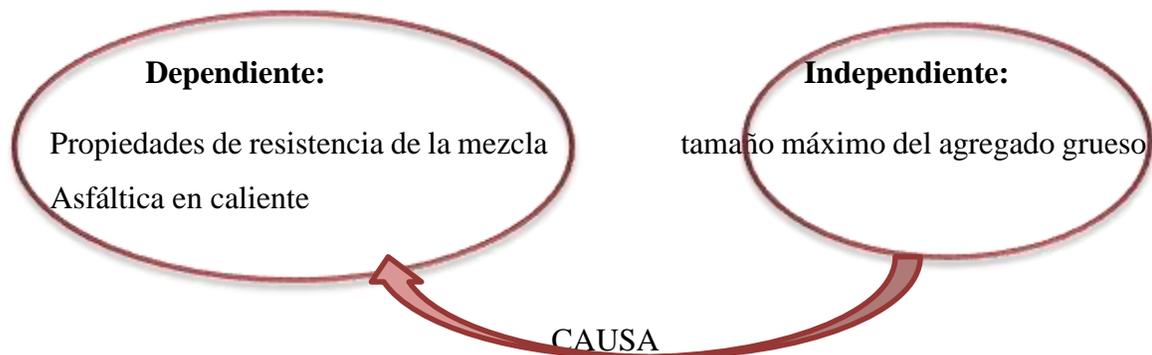
- Propiedades de resistencia de la mezcla asfálticas

##### **Variable independiente**

- Tamaño máximo del agregado grueso

VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACIÓN	OPERACIONALIZACIÓN		
		Dimensión	Indicador	Valor / Acción
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> Tamaño máximo del agregado grueso	es el Tamaño mayor del agregado grueso que presenta una granulometría	agregado grueso	pulgadas	1",3/4",1/2"
		Granulometría	Porcentaje (%)	3 Tamaños máximos
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> Propiedades de resistencia de la mezcla asfáltica	son las propiedades de estabilidad, fluencia, densidad y resistencia al desgaste, que presenta la mezcla asfáltica para resistir a las solicitaciones de carga y efectos atmosféricos	Estabilidad	libras	Método Marshall
		fluencia	milímetros	
		densidad	peso /volumen	
		resistencia al desgaste	Porcentaje (%)	Cántabro

EFECTO



**Efecto:** Variación en las propiedades físico-mecánicas

**Causa:** Variación del tamaño máximo del agregado grueso

## 1.4 DISEÑO METODOLÓGICO

### 1.4.1 Unidad

La unidad en estudio son las mezclas asfálticas.

### 1.4.2 Población

La población de estudio son las mezclas asfálticas en caliente.

### 1.4.3 Muestra

La evaluación tendrá como muestra la variación del tamaño máximo del agregado grueso. Para lo cual se tomará 3 muestras de los diferentes tamaños máximos del agregado grueso para cada yacimiento y planta como se detallará a continuación:

**Tabla 1.1:** *determinación del número de muestras según el tamaño máximo*

material	tamaño máximo	1"	3/4"	1/2"
triturado	planta 1	3	3	3
triturado	planta 2	3	3	3
natural	yacimiento 1	3	3	3
natural	yacimiento 2	3	3	3

**Fuente:** *elaboración propia*

### 1.4.4 Muestreo

Para la realización del muestreo se tomará en cuenta las plantas y yacimientos más conocidos y de mayor disponibilidad en nuestro medio.

Las plantas que se tomarán en cuenta para la extracción del material triturado será la de SEDECA (San José de Charaja) y la planta de la empresa "Erika". El material se encuentra separado por tamaños tanto en grava, gravilla y arena. La muestra se pretenderá en lo posible extraer del medio de los acopios.

Los yacimientos que se tomarán en cuenta para la extracción del material natural serán del río Guadalquivir y del río de Tolomosa. El material que se extraerá será de las proximidades o en lo posible del medio del lecho del río, el material se extraerá en época seca para evitar inconvenientes que se pudieran presentar por el cauce de los ríos y con la ayuda de un juego de tamices con los tamaños definidos se realizará la selección del material.

#### **1.4.5 Técnicas**

Las técnicas que se emplearán para realizar la presente investigación serán documentales y experimentales, que nos permitirá recopilar toda la información sobre el tema y los ensayos en laboratorio determinado por las diferentes normas basados en las mezclas asfálticas en caliente.

Los ensayos que se materializarán son para la caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica como ser los agregados tanto gruesos como finos y del ligante asfáltico, también se efectuarán ensayos para la dosificación de la mezcla asfáltica en caliente como para la determinación de los diferentes características de la mezcla. Posteriormente se cumplirá los ensayos Marshall para la delimitación de las diferentes propiedades físico–mecánicas.

#### **1.4.6 Medios**

Los medios que se realizarán para la obtención de las propiedades de resistencia de la mezcla asfáltica en caliente, son los materiales que se emplearan para llevar a cabo los ensayos de caracterización del suelo, la caracterización del ligante asfáltico y posteriormente el ensayo Marshall.

La caracterización del suelo se perpetrará detalladamente según los ensayos que sean necesarios para decidir las características óptimas para llevar a cabo la mezcla asfáltica.

- Los ensayos que se realizarán para la caracterización serán tanto para los agregados finos como los agregados gruesos es la granulometría, ensayo de los ángeles y ensayo equivalente de arena.

**Figura1.2 :** *Ensayo Equivalente de arena*



**Fuente:** *diseño moderno de pavimentos-S. MINAYA & A. ORDOÑEZ*

**Figura 1.3:** *Ensayo de los Ángeles*

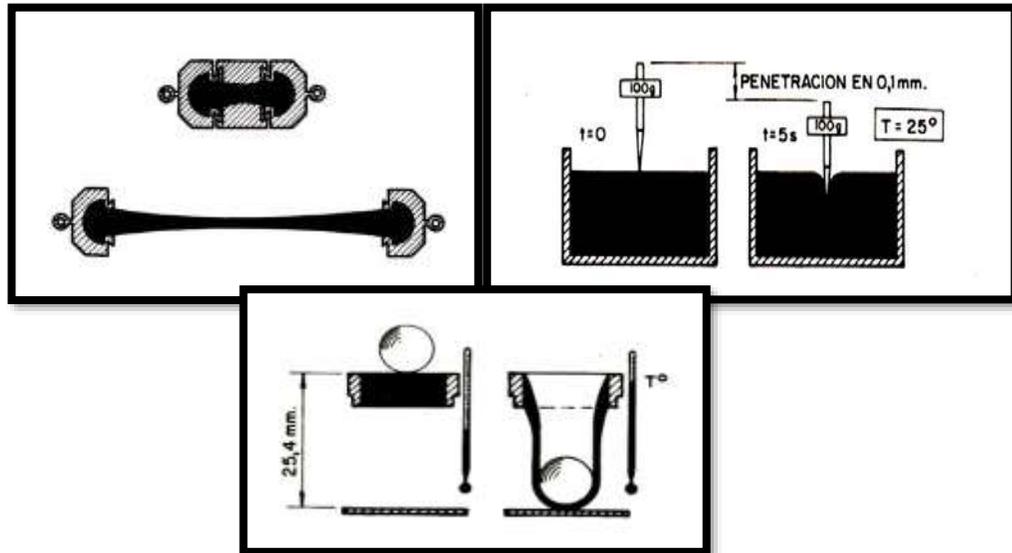


**Fuente:** *diseño moderno de pavimentos-S. MINAYA & A. ORDOÑEZ*

- Los ensayos para la caracterización del ligante asfáltico serán las siguientes:

Ensayo de ductilidad, ensayo de penetración, ensayo de reblandecimiento, ensayo punto de inflamación, ensayo de viscosidad, y ensayo de densidad - gravedad específica.

**Figura 1.4:** ensayos de la caracterización del ligante (ductilidad, penetración y punto de reblandecimiento)



**Fuente:** Univ. Alejandro Rodríguez Padilla

- Para la determinación de la estabilidad y flujo de la mezcla se utilizara el equipo Marshall como se muestra en la figura 1.5.
- Para la delimitación del % de desgaste de la mezcla se llevará a cabo en la máquina de los Ángeles como se muestra en la figura 1.6

**Figura 1.6:** Equipo Marshall



**Fuente:** Universidad de Cuenca/Walter Chimborazo

**Figura 1.6:** *Máquina de los Ángeles para realizar el ensayo de cántabro*



**Fuente:** *Universidad de San Simón, Ing Carlos Alberto Vera Cortez*

#### **1.4.7 Metodología**

Para el presente proyecto de investigación se llevará a cabo tanto ensayos como mediciones y trabajo en gabinete, que se detallará a continuación:

Primeramente se llevará a cabo la selección del material que se necesitará para la elaboración de la mezcla, esta selección será de las 2 plantas de material triturado y de los 2 yacimientos de material natural, posteriormente se deberá realizar la caracterización de estos materiales por separado de cada planta como de cada yacimiento.

También deberá efectuar la caracterización del ligante asfáltico (BETUPEN 85-100) a utilizar que se lo realizará mediante los diferentes ensayos determinados por normas empleadas en nuestro medio.

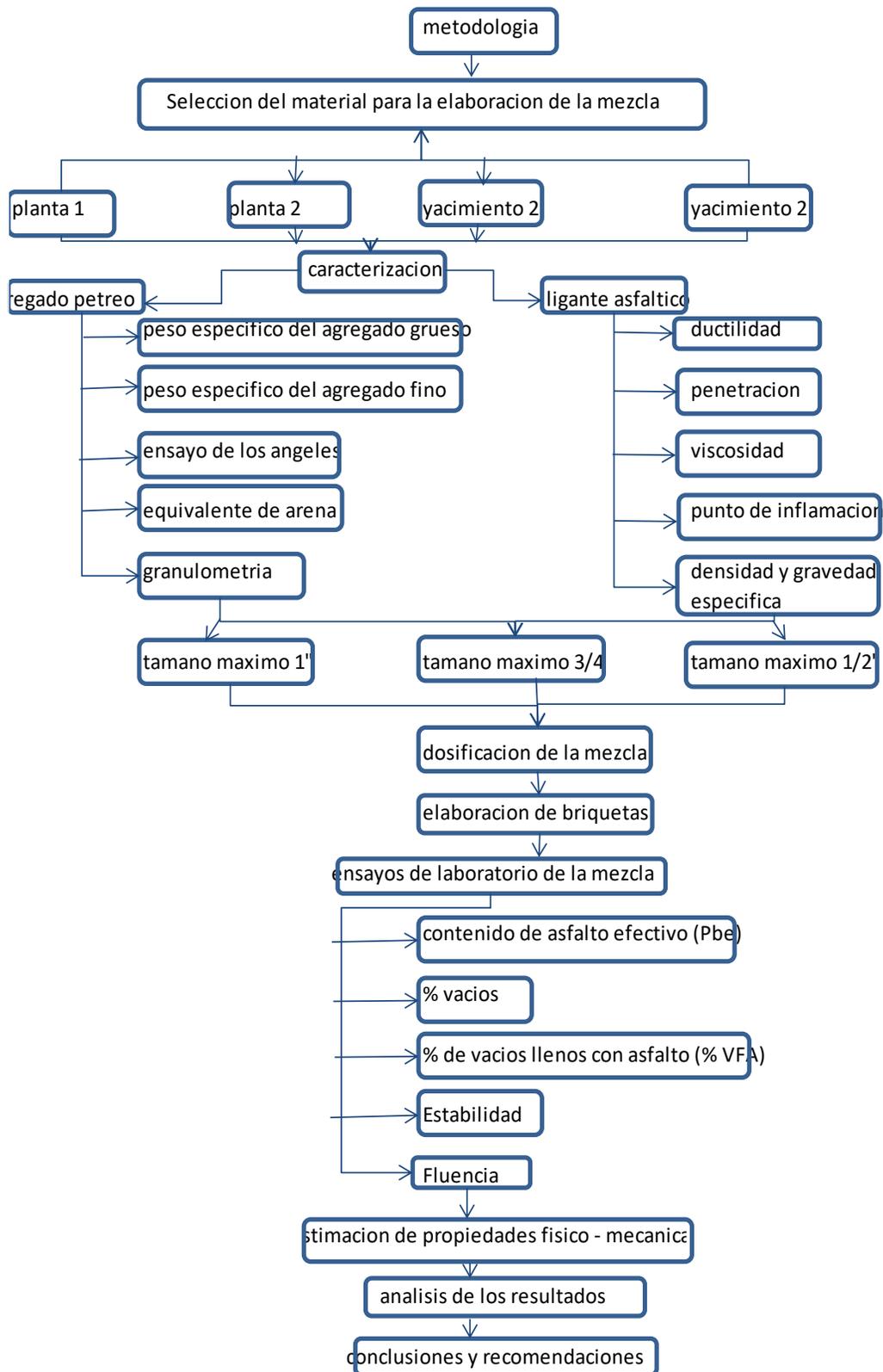
Concluida la caracterización se delimitarán los porcentajes para el agregado fino como del grueso para la granulometría de trabajo para así mediante el método Marshall establecer los porcentajes óptimos de cada tipo de agregado.

Se materializará la dosificación de las briquetas con los porcentajes óptimos dispuestos anteriormente para cada tamaño máximo en estudio que son 1", ¾", ½".

Estas briquetas serán 3 por tamaño máximo, lo cual se elaboraran 9 briquetas por cada planta y por cada yacimiento.

Se deberá realizar los diferentes ensayos para la determinación de las características de la mezcla para que así con la determinación de estas características realizar la estimación de las propiedades físico-mecánicas.

Realizados todos los ensayos de la mezcla asfáltica en caliente se deberá realizar el trabajo en gabinete donde se analizara los resultados y llegar a conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.



### 1.4.8 Alcance

El alcance que presentará la investigación es establecer los valores de las propiedades de la mezcla asfáltica a diferentes tamaños máximos del agregado grueso y ver la diferencia entre el material natural y triturado, utilizados en la investigación.

De manera general en el capítulo 1 se explica lo que se realizará en el presente proyecto, se describirá en forma resumida el conocimiento que se obtiene sobre las mezclas asfálticas en caliente, los efectos que generará la variación del tamaño máximo del agregado grueso en las resistencia y propiedades de la mezcla asfáltica como problema, los objetivos tanto general y específicos que se desean cumplir con la investigación, plantearse la hipótesis sobre la variación de las propiedades de la mezcla asfáltica, la unidad de muestra, la población y medios que se necesitaran para la realización de la investigación como también las metodologías planteadas tanto en laboratorio como en gabinete.

En el capítulo 2 se definirá el marco teórico, y en él se nombran conceptos relacionados con el tema de investigación, estos conceptos serán referentes a las mezclas asfálticas en caliente, los componentes que conlleva la mezcla asfáltica que son los agregados pétreos (tamaño máximo, características y origen) y ligante asfáltico, la descripción de los ensayos para la caracterización de los componentes, descripción de las propiedades que debe tener la mezcla asfáltica en caliente y la descripción del método y equipo Marshall utilizado en tema de investigación.

En el capítulo de investigación se materializará todo lo que pertenece a la parte técnica que se efectuará inicialmente con la ubicación de los lugares de donde se extraerá los materiales pétreos que deberán ser dos plantas de material triturado y dos yacimientos de material pétreo natural. Se tomara como variable independiente el tamaño máximo del agregado grueso que se practicará para 1",  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ". Se variara el tamaño máximo del agregado grueso pero sin modificar la granulometría de trabajo de cada yacimiento o planta en estudio

Se realizará la caracterización tanto del agregado pétreo como del ligante asfáltico con los ensayos necesarios, en el caso de los agregados pétreos serán granulometría tanto para el agregado grueso como para el fino y combinados, peso específico tanto para el agregado grueso como para el fino, ensayo de los Ángeles, equivalente de arena, y en el caso del ligante asfáltico se utilizará el BETUPEN 85-100 que se obtendrá de la planta de SEDECA, una vez realizado el muestreo se caracterizará mediante los ensayos de ductilidad, penetración, punto de inflamación y densidad-gravedad específica, para así realizar la dosificación de la mezcla para la elaboración de las briquetas que posteriormente se determinará con la ayuda del equipo Marshall la estabilidad y la fluencia que finalmente con estos datos se delimitarán las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y mediante gráficas disponer la variación de las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente vs tamaño máximo del agregado grueso. Finalmente se establecerá las conclusiones de acuerdo a nuestros objetivos planteados en el capítulo I, también se mencionarán las observaciones que se presentaron en la investigación y las recomendaciones que permitan efectuar una mejor obtención de datos de la práctica de la elaboración de la mezcla asfáltica y determinación de sus propiedades de acuerdo a la experiencia que obtendremos en la presente investigación.

## **CAPÍTULO II MEZCLAS ASFÁLTICAS, COMPONENTES Y PROPIEDADES**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

El uso moderno de asfaltos para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos. Hoy día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados. Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción es la siguiente: Un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo. Ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes.

El pavimento de concreto asfáltico es el pavimento de mejor calidad. Está compuesto de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuáles son calentados y mezclados en proporciones exactas en una planta de mezclado en caliente. Antes de que la mezcla se enfríe, las compactadoras proceden a compactarla para lograr la densidad especificada. A medida que se enfría, el asfalto se endurece y recupera las propiedades ligantes que hacen de él un material vial eficaz.

Las mezclas asfálticas, en general, están constituidas por la combinación de ciertos elementos que la hacen resistentes a distintos tipos de deterioros (naturales o no). Por lo que, el comportamiento de las mismas es el resultado de las propiedades individuales del agregado mineral y del asfalto, así como por la interrelación de ambos componentes dentro del sistema.

### **2.2 MEZCLA ASFÁLTICA**

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

**Figura 2.1:** Mezcla asfáltica en caliente (aglomerado)



**Fuente:** *DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS. M.Sc. Silene Minaya González, M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez Huamán. Segunda Edición. Lima, 2006.*

La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito. Debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad. Debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos. Debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno

### 2.1.2 Clasificación de las mezclas asfálticas

#### a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

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

#### b) Por la Temperatura de puesta en obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy

superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

**c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.**

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

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

**d) Por el Tamaño Máximo del Agregado Pétreo.**

- Mezclas Gruesas: Tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: También llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico.

**e) Por la Estructura del agregado pétreo.**

- Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

**f) Por la Granulometría.**

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

**Figura 2.2:** Resumen de la clasificación de las mezclas asfálticas

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

**Fuente:** S. MINAYA & A. ORDOÑEZ

### 2.2.1 Mezclas asfálticas en caliente

Se define como mezcla asfáltica (o bituminosa) en caliente a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante.

El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Enseguida esta mezcla es colocada en la obra.

## 2.2.2 Componentes de la mezcla asfáltica en caliente

### 2.2.2.1 Agregados pétreos



agregado redondeado

agregado cubico

Los agregados minerales para fabricar la mezcla asfáltica pueden ser naturales o triturados. Los naturales se extraen de depósitos fluviales o glaciares, y utilizados sin ningún procesamiento para elaborar la mezcla asfáltica. Los agregados triturados se explotan en canteras, y reducidos a los tamaños deseados mediante trituración mecánica. Independientemente de la fuente; en los métodos de procesamiento o mineralogía, se espera que el agregado provea un fuerte esqueleto pétreo para resistir aplicaciones de carga repetidas.

Los agregados de textura rugosa, equidimensionales, producen mayor resistencia que los redondeados y de textura lisa. Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna que una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una masa más compacta de material. Las partículas redondeadas, en vez de trabarse tienden a deslizarse unas sobre otras. Cuando una masa de agregados es cargada, puede generarse dentro de la masa un plano por el que las partículas se deslicen o cizallen unas respecto de las otras lo cual resulta en una deformación permanente de la masa.

#### 2.2.2.1.1 Tipos de agregados pétreos.

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

➤ **Agregados naturales.**

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimentos son la grava y la arena.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además, de acuerdo a su origen. Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tomados de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de cantera de ríos.

Los depósitos de grava varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo.

➤ **Agregados de trituración.**

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Aquí se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

Existen dos fuentes principales de agregados procesados o de trituración; estas son: Gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimentos de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable; sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes. El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste principalmente en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones de economía, el material triturado es utilizado tal como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra. El agregado triturado sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimentos. Sin embargo es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

#### **2.2.2.1.2 Propiedades del agregado pétreo y su evaluación**

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la partícula
- Textura de la superficie

- Capacidad de absorción
- Afinidad con el asfalto
- Peso específico.

#### 2.2.2.1.2.1 Graduación y tamaño máximo

##### ✓ **Graduación**

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para delimitar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

##### ✓ **Tamaño Máximo de Partícula**

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

- Tamaño máximo nominal de partícula, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.
- Tamaño máximo de partícula, designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado

**Tabla 2.1:** *Designación usando el tamaño máximo nominal de los agregados*

Designación de la Mezcla usando el tamaño máximo nominal de agregados					
Tamaño de Tamiz	37.5 mm (1 ½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)
50 mm (2 in.)	100				
37.5 mm (1 ½ in.)	90 to 100	100	-	-	-
25.0 mm (1 in.)	-	90 to 100	100	-	-
19.0 mm (¾ in.)	56 to 80	-	90 to 100	100	-
12.5 mm (1/2 in.)	-	56 to 80	-	90 to 100	100
9.5 mm (3/8 in.)	-	-	56 to 80	-	90 to 100
4.75 mm (Nº 4)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 54	55 to 85
2.36 mm (Nº 8)	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (Nº 16)	-	-	-	-	-
0.60 mm (Nº 30)	-	-	-	-	-
0.30mm (Nº 50)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (Nº 100)	-	-	-	-	-
0.075 mm (Nº 200)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
Cemento asfáltico Porcentaje en peso Total de la mezcla***	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

#### 2.2.2.1.2.2 Textura superficial.

A textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo a trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento.

Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas.

Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

#### **2.2.2.1.2.3 Limpieza.**

Las especificaciones de la obra, generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales extraños que adulteran el agregado, generalmente estos materiales extraños los constituyen: vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etc. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregados antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075 mm (No. 200).

#### **2.2.2.1.2.4 Capacidad de absorción.**

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño delimita su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto, es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuara absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado.

Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso. Los agregados altamente porosos y absorbentes, no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los hagan deseables para su utilización en mezclas asfálticas, a pesar de su alta capacidad de absorción.

#### **2.2.2.1.2.5 Dureza.**

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento.

Los agregados que están en, o cerca de la superficie, deben ser más duros, es decir deben tener más resistencia que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

El ensayo de Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Impacto y Abrasión en la Máquina de Los Ángeles (AASHTO T 96), es la medida más común de la dureza en los agregados.

Este ensayo nos permite tener una idea, de la forma en que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causados por el tráfico, además nos proporciona una idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.

#### **2.2.2.1.2.6 Afinidad con el asfalto.**

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto, los agregados que tienen alta afinidad con el asfalto son conocidos como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto; por consiguiente tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos como: La cuarcita y algunos granitos, son algunos ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con mucha precaución.

#### **2.2.2.1.2.7 Forma de la partícula.**

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida,

la forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas.

El mejor entrelazamiento ocurre con partículas de bordes puntiagudos y de forma cubica, producidas casi siempre, por procesos de trituración. Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas, las partículas gruesas (grandes) de agregado, proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada. Las partículas finas de agregado, suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y generalmente provienen de arenas naturales.

#### **2.2.2.1.2.8 Peso específico.**

El peso específico de un agregado (también conocido como gravedad específica), es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados en la mezcla, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico, tiene un volumen mayor (ocupa un mayor espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen).

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es: Que este ayuda en el cálculo de porcentaje de vacíos de aire de las mezclas compactadas.

### **2.2.2.1.3 Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.**

#### **2.2.2.1.3.1 Agregado grueso.**

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de la mezcla compactada.

#### **2.2.2.1.3.1.1 Características y propiedades deseables de los agregados gruesos para su utilización en las mezclas asfálticas.**

##### **✓ Granulometría.**

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral). Normalmente se utilizan granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías discontinuas en el caso de algunas mezclas asfálticas. Para encajar una granulometría dentro de algún uso normalizado se parte de fracciones uniformes que se mezclan en las proporciones adecuadas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado; el procedimiento es análogo al que se emplea para suelos. El tamaño máximo de los agregados viene normalmente limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. Por otra parte la influencia de las partículas finas obliga normalmente a limitar su porcentaje y su plasticidad. En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de tamaño inferior a  $63\mu\text{m}$ , llamada, como se ha indicado, polvo mineral o filler, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y del ligante asfáltico.

✓ **Rozamiento interno.**

La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de firme depende esencialmente del rozamiento interno del esqueleto mineral y, en su caso, de la cohesión que proporciona el eventual ligante o conglomerante. El rozamiento interno aumenta con partículas angulosas y de textura superficial áspera como por ejemplo los agregados triturados. También influye de forma importante la granulometría del agregado y el porcentaje de huecos del material compactado. A mayores densidades corresponden generalmente mayores resistencias mecánicas, por lo que la compactación es un factor de primer orden.

La cohesión debe confiarse exclusivamente al ligante asfáltico o conglomerante. La cohesión entre las partículas suele ser despreciable, y cuando existe se debe únicamente a la plasticidad de la fracción fina, y en general es más nociva que útil. Sólo interesa una cierta plasticidad de los finos y muy reducida de todas formas, cuando se trata de capas granulares no revestidas en caminos de baja intensidad de tráfico.

✓ **Angulosidad del agregado grueso.**

La angulosidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas. La mayoría de las normativas establecen un mínimo de angulosidad del agregado grueso, dependiendo de las condiciones de tráfico al que va a estar expuesto el pavimento.

✓ **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 como lo hemos dicho antes, este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica 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.

✓ **Resistencia a la fragmentación de los agregados gruesos.**

Los agregados pétreos deben de cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o al desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio el pavimento.

✓ **Limpieza del agregado grueso.**

El agregado grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de impurezas del agregado grueso, según las normativas deberá ser mínimo, algo muy aproximado al cinco por mil (0,5%) en masa. Aunque se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros, y realizando una nueva comprobación. La exigencia anterior podría cuestionarse considerando que en las plantas asfálticas modernas existen poderosos sistemas para extraer el polvo e impurezas del agregado. Sin embargo en una secuencia lógica de exigencias de calidad y prevenciones, la limpieza inicial del agregado está totalmente justificada.

#### **2.2.2.1.3.2 Agregado fino.**

Se denominará agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm (No. 4) y 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no podrá exceder los límites establecidos.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad.

#### **2.2.2.1.3.3 Polvo mineral (filler)**

El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mástico para mezclas asfálticas. Cuando se trata de un producto comercial, se garantiza perfectamente su control y se conocen sus propiedades tanto físicas como químicas y su futuro comportamiento en la mezcla. Aporta un incremento a la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, incrementa la durabilidad de la capa de rodadura evitando la acción del desplazamiento que ejerce el agua al asfalto, debido a que reduce los poros superficiales evitando el acceso del agua al interior.

#### **2.2.2.1.4 Descripción de los ensayos a realizar para el material pétreo**

##### **✓ Análisis Granulométrico.**

Por medio de este ensayo podemos determinar la distribución de tamaños de las partículas, el cual consiste en hacer pasar una cierta cantidad de muestra de agregado por una serie de Tamices normalizados, en un orden sucesivo de mayor a menor abertura del tamiz, quedando retenida parte de la muestra en cada tamiz.

Se representan en una gráfica el porcentaje que pasa en cada uno de ellos, pudiéndose observar si la curva granulométrica es continua, o sea que contenga todos los tamaños o si es discontinua un sólo tamaño. Este procedimiento se realiza para el agregado grueso como para el fino y en combinación de ambos agregados.

**Figura 2.3:** *Tamizado del material pétreo*



**Fuente:** *diseño moderno de pavimentos-S. MINAYA & A. ORDOÑEZ*

✓ **Ensayo de Desgaste de los Ángeles.**

Este ensayo caracteriza la resistencia que presentan los agregados al desgaste. La máquina de los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, con sus extremos cerrados y una abertura para introducir los áridos, que puede girar en posición horizontal. Se introducen en el cilindro unas bolas de acero como la carga abrasiva y se hace girar un determinado número de vueltas. Se delimita el coeficiente de desgaste de los ángeles que es la diferencia entre el peso original de la muestra y el peso después del ensayo expresada en porcentaje del peso inicial. Si el desgaste es mayor de 50%, se asume que el agregado es de mala calidad, si el desgaste es menor de 20%, el agregado es excelente.

**Figura 2.4 :** *Máquina para realizar el desgaste de lo Ángeles*



**Fuente:** *Diseño moderno de pavimentos-S. MINAYA & A. ORDOÑEZ*

✓ **Equivalente de Arena.**

Con este ensayo podemos evaluar la limpieza y plasticidad de los agregados finos. El ensayo consiste en introducir una muestra de agregado en una probeta que contiene una solución floculante, se mezcla el agregado con la solución y se añade agua, dejando reposar el conjunto durante 20 minutos. Después de este tiempo se puede observar el agregado limpio en la parte inferior, en la zona intermedia las partículas contaminantes en suspensión y en la superficie el líquido relativamente limpio. Con la relación de alturas de estas zonas se determina el equivalente de arena. Se define como agregado muy contaminado el que tiene un Equivalente de Arena menor de 20 y como agregado muy limpio el que tiene un equivalente de arena mayor que 50.

**Figura 2.5:** *Ensayo Equivalente de arena*



**Fuente** *Diseño moderno de pavimentos-S. MINAYA & A. ORDOÑEZ*

✓ **Gravedad específica**

La gravedad específica del agregado es necesaria para delimitar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a Aproximadamente 23°C (73.4°F). La ecuación usada es:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen} * \text{peso específico del agua}}$$

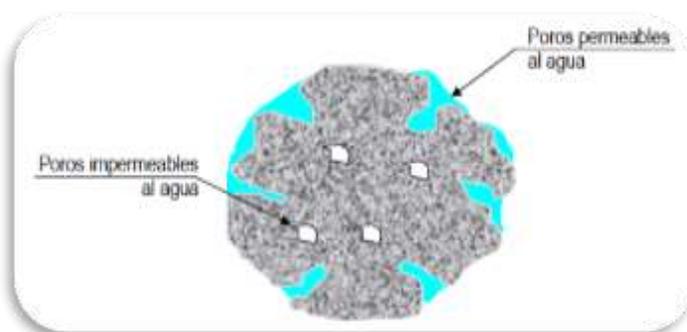
Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1.0gr/cm<sup>3</sup>, convirtiendo la ecuación de la gravedad específica en:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$$

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

- Gravedad Específica Seca Aparente
- Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca) y Saturada Superficialmente Seca Bulk
- Gravedad Específica Efectiva

**Figura 2.6:** Esquema peso-volumen de la partícula de agregado



**Fuente** *diseño moderno de pavimentos-S. MINAYA & A. ORDOÑEZ*

**Tabla 2.2:** Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste de los ángeles, %	35
Partículas alargadas y lajeadas, % máximo	40
Equivalente de arena, % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, % máximo	25

**Fuente:** *SCT 2003*

### 2.2.2.2 Ligante asfáltico.

Dentro del nombre genérico de ligantes asfálticos se incluyen materiales de distinta procedencia, los asfaltos y los alquitranes, que tienen en común su aspecto y una serie

de propiedades aglomerantes. Ambos son materiales termoplásticos, viscosos, su color es negro y están formados por una mezcla compleja de hidrocarburos.

Actualmente en carreteras se usa el asfalto, que puede ser de origen natural (rocas o lagos asfálticos) o artificial el cual es un producto de la refinación del petróleo crudo. Dadas sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, tiene gran variedad de aplicaciones en la construcción de pavimentos flexibles como por ejemplo, mezclas asfálticas, bases estabilizadas, riegos de sello, emulsiones asfálticas, riegos de liga, riegos de impregnación, entre otros.

#### **2.2.2.2.1 Propiedades del ligante asfáltico**

##### **2.2.2.2.1.1 Densidad.**

La densidad de los asfaltos que se utilizan en la construcción de pavimentos varía desde 0.9 - 1.4 kg/dm<sup>3</sup>. Los valores más altos de densidad de un asfalto corresponden a los asfaltos procedentes de crudos con un alto contenido de hidrocarburos aromáticos. La densidad puede darnos idea de las impurezas que contiene un producto y su medida nos sirve de control de la uniformidad de un suministro.

##### **2.2.2.2.1.2 Penetración**

Esta propiedad, por sí sola, no nos permite identificar un asfalto, pero sí nos define si el producto que está sometido al ensayo es líquido, semisólido o sólido. La penetración de un producto asfáltico disminuye cuando la densidad del mismo aumenta.

**Figura 2.7:** *Equipo para el ensayo de penetración.*

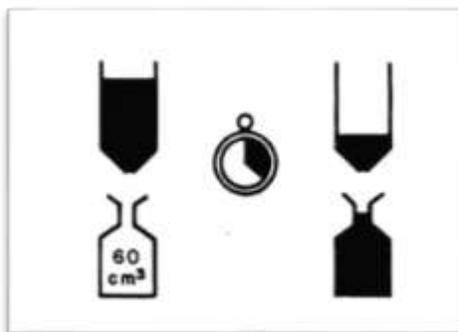


**Fuente:** *Universidad Ricardo Palma (Bach. Elizabeth Victoria Adela Paredes Matta)*

#### 2.2.2.2.1.3 Viscosidad

La viscosidad es la relación entre la fuerza aplicada a un fluido y la velocidad con la que fluye. Por lo tanto la viscosidad de un ligante es una de sus características esenciales desde el punto de vista de su comportamiento en el momento de su aplicación cuando su consistencia es suficientemente reducida. La viscosidad de los ligantes hidrocarbonatos depende de la temperatura, por lo que su determinación a diferentes temperaturas da una buena idea de cuál es su susceptibilidad térmica.

**Figura 2.8:** *Determinación de la Viscosidad Relativa.*



**Fuente:** *Universidad Ricardo Palma (Bach. Elizabeth Victoria Adela Paredes Matta)*

#### 2.2.2.2.1.4 Ductilidad

Los materiales asfálticos están sometidos frecuentemente a variaciones de temperatura que le provocan cambios dimensionales, para esto es necesario que el material asfáltico tenga suficiente ductilidad para alargarse sin que se produzcan grietas. Una ductilidad excesiva tampoco es conveniente debido a que se corre el riesgo de que se presenten ondulaciones por efectos de las cargas del tráfico.

**Figura 2.9:** *Equipo para el ensayo de Ductilidad.*



**Fuente:** *Universidad Ricardo Palma (Bach. Elizabeth Victoria Adela Paredes Matta)*

#### 2.2.2.2.1.5 Punto de inflamación

Es la temperatura a la cual arden los vapores del asfalto al aproximar a la superficie del material una llama de prueba. Su determinación es interesante, puesto que cuando comprobemos que el punto de inflamación está 25 o 30 grados centígrados por encima de la temperatura a la que manejamos el asfalto para su utilización en la obra, procederemos a estas operaciones con notables precauciones. El punto de inflamación de un asfalto debe de estar alrededor de los 215 grados centígrados.

**Figura 2.10:** Equipo para el ensayo de punto de inflamación (“el vaso Cleveland”).



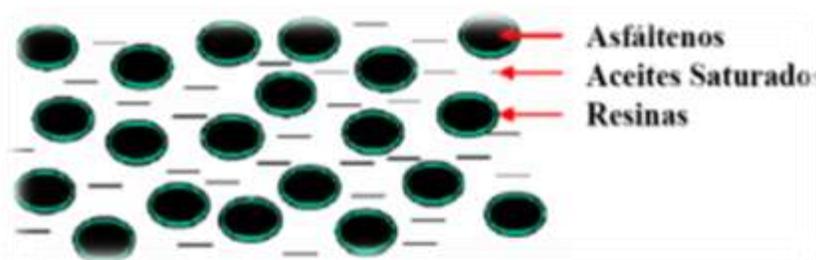
**Fuente:** Universidad Ricardo Palma (Bach. Elizabeth Victoria Adela Paredes Matta)

#### 2.2.2.2.2 Composición del ligante

El asfalto o betún, desde el punto de vista de su naturaleza, está constituido por una mezcla compleja de hidrocarburos cuyos componentes principales son el Carbono (82-87%) y el Hidrógeno (9-11%) y en mucha menor proporción Oxígeno (0.2-0.8%), Azufre (0.9-5.5%), Nitrógeno (0.2-1.2%) y metales pesados como el Níquel (0.4-110ppm) y el Vanadio (4-1400ppm), todos de diferente peso molecular, solubles en sulfuro de carbono.

Estos materiales forman una solución coloidal, en la que la fase discontinua la constituye la fracción pesada, denominada asfáltenos cuyo peso molecular oscila de 4000 a 7000 y la fase continua la constituye un fluido aceitoso formado por la fracción ligera, denominada máltenos cuyo peso molecular oscila entre 700 a 4000.

**Figura 2.11:** Estructura Coloidal del Asfalto



**Fuente:** BACH. ELIZABETH VICTORIA ADELA PAREDES MATTA

**Figura 2.12:** Esquema de la Composición del Asfalto.



**Fuente:** BACH. ELIZABETH VICTORIA ADELA PAREDES MATTA

## 2.2.3 Características y propiedades de la mezcla asfáltica en caliente

### 2.2.3.1 Características de la mezcla

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

- ✓ Densidad de la mezcla
- ✓ Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- ✓ Vacíos en el agregado mineral.
- ✓ Contenido de asfalto.

### 2.2.3.2 Propiedades de la mezcla asfáltica

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

#### 2.2.3.2.1 Estabilidad

La estabilidad de un pavimento 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 (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito.

Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

**Tabla 2.3** *Causas y efectos de inestabilidad:*

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

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

*Asphalt institute (MS 22)*

### 2.2.3.2.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: Usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

**Tabla 2.4 Causas y efectos de una poca durabilidad:**

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

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

*Asphalt institute (MS 22)*

### 2.2.3.2.3 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el

contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

**Tabla 2.5** *Causas y efectos de la permeabilidad:*

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

**Fuente:** *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.*  
*Asphalt institute (MS 22)*

#### 2.2.3.2.4 Trabajabilidad

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

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

**Tabla 2.6** *Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad:*

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

**Fuente:** *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.*  
*Asphalt institute (MS 22)*

### 2.2.3.2.5 Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento, es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

**Tabla 2.7** *Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga:*

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

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

*Asphalt institute (MS 22)*

### 2.3 METOLOGÍA MARSHALL

Los conceptos originales para el Diseño Marshall fueron desarrollados por Bruce Marshall del Departamento de Caminos del Estado de Mississippi, y rediseñado por El Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estado Unidos en los años 40. Después se hicieron avances y el desarrollo de especificaciones de materiales por organizaciones como el Cuerpo de Ingenieros y el Instituto del Asfalto.

Como cualquier otro método de diseño de pavimentos, el punto de partida es obtener muestras de materiales representativos de aquellos que serán usados para el proyecto. Este método usa unas muestras estándar de 2 ½ pulgadas de alto y 4 pulgadas de diámetro. Estos se preparan usando un procedimiento específico para calentamiento, mezclado y compactado de las mezclas de agregado y asfalto. Las dos características principales del método de Marshall, son las de análisis de densidad y vacíos en la mezcla y los resultados de estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

#### 2.3.1 Preparación de las Muestras de Ensayo

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de

contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final.

La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

- a) El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- b) Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
- c) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada biqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes; una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos y una probeta de 75 golpes recibe 150 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

### **2.3.2 Procedimiento del Ensayo**

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

### **2.3.2.1 Densidad**

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrara en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) o libras por pie cúbico ( $\text{lb/pe}^3$ ), es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ( $1,000 \text{ kg/m}^3$  o  $62.416 \text{ lb/pe}^3$ ). La densidad patrón obtenida en laboratorio se utiliza como referencia para determinar si la densidad del pavimento compactado en la obra es adecuada o no. Difícilmente en la compactación in-situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

### **2.3.2.2 Vacíos de aire**

Están presentes entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos admiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras preparadas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 3% y 5%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico. A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica. Por otra parte un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla. En campo las

especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 8%.

### **2.3.2.3 Vacíos en el agregado mineral (VMA)**

Son los espacios de aire que existen de entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir el VMA es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el VMA es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla.

### **2.3.2.3 Contenido de asfalto**

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran medida de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas. Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (No. 200)) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. Caso contrario al efectuar pequeñas disminuciones de filler nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda).

**Figura 2.13:** Diagrama de fases de una mezcla asfáltica compactada



**Fuente:** “Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas “Universidad Ricardo Palma.

Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a variar de seca a húmeda. La capacidad de absorción del agregado en una mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Técnicamente se habla de dos tipos de asfalto al referirse al asfalto absorbido y el no-absorbido: Contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto: Cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto: Volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla.

### 2.3.2.5 Vacíos llenos de asfalto VFA

Son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando su valor como un porcentaje.

### 2.3.2.6 Ensayos de Estabilidad y Fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

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

**Figura 2.14:** *Medición de la estabilidad y flujo Marshall*



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

**Figura 2.15:** *Mordaza para la medición de la estabilidad y flujo Marshall.*



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

## **2.4 DISEÑO GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS**

El esquema para análisis de agregados está controlado, hasta cierto punto, por el número de pilas de agregados y el número de separaciones de tolvas usado en la producción de la mezcla asfáltica.

El propósito en esta fase del diseño de mezclas es establecer la fórmula de obra que defina la gradación real y el contenido de asfalto de la obra terminada.

A continuación se describen las operaciones de laboratorio que normalmente rigen las pruebas de agregados necesarias para establecer la fórmula de obra. A veces, será necesario modificar el esquema para mantener conformidad con los sistemas que controlan el proporcionamiento y mezclado en la planta.

### **2.4.1 Combinación agregado por peso**

El proceso usado para determinar las proporciones de dos o más agregados que deben combinarse para formar una granulometría que cumpla con los límites establecidos por las especificaciones, es en gran parte un proceso de tanteo por error. Existen métodos gráficos, sin embargo, que frecuentemente son de gran ayuda. Es siempre importante graficar, como primera medida, los análisis de tamices para todos los agregados a ser usados. De esta manera, es posible a veces establecer una aproximación visual de las proporciones necesarias.

### 2.4.2 Soluciones gráficas

Los métodos gráficos han sido diseñados para establecer combinaciones de agregados que conduzcan a la gradación deseada. Algunos métodos gráficos son tan complicados como los métodos matemáticos. A medida que aumenta el número de agregados a ser combinados, así mismo se complica el método gráfico. Las soluciones gráficas pueden ser usadas con ventaja sobre el método de tanteo por error cuando se trata solamente de combinar dos, y a veces hasta tres, agregados. En otros casos, los métodos gráficos pueden usarse para indicar el punto donde deben comenzar las soluciones de tanteo por error como lo por el método grafico triangular que de acuerdo a la granulometría que presenta cada tipo de agregado se determinan porcentajes de inicio para el tanteo.

## 2.5 CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO PARA CARPETAS

### 2.6.1 Determinación del contenido mínimo de cemento asfáltico por el procedimiento del área superficial

Este procedimiento es aplicable a materiales graduados que contienen cierta cantidad de finos. Primeramente conociendo la composición granulométrica del material pétreo, se calcula el contenido de cemento asfáltico empleando el método que a continuación se indica. Este método está basado en la estimación de la superficie de los agregados pétreos por cada kilogramo de material. Para hacer dicha estimación, se hace uso de las siguientes constantes de área en metros cuadrados por kilo de material pétreo.

Material pasa malla 1-1/2" y se retiene en 3/4"	0.27 m <sup>2</sup> /kg	mat.
Material pasa malla 3/4" y se retiene en No. 4	0.41 m <sup>2</sup> /kg	mat.
Material pasa malla No. 4 y se retiene en No. 40	2.05 m <sup>2</sup> /kg	mat.
Material pasa malla No. 40 y se retiene en No. 200	15.38 m <sup>2</sup> /kg	mat.
Material pasa malla No. 200	53.30 m <sup>2</sup> /kg	mat.

Cada una de estas constantes se multiplica por los porcentajes de partículas entre las mallas correspondientes, dando por resultado que se obtenga determinadas superficies

por kilogramo de material. Suman todas las superficies calculadas y el resultado se multiplica por el índice asfáltico, que varía de 0.0055 a 0.01385, de acuerdo con la rugosidad y la porosidad de los agregados. Con el consiguiente ejemplo podrá verse claramente la aplicación de las constantes de área y del índice asfáltico. Para el objeto deseado se considerara un índice asfáltico. Para el objeto deseado se considerara un índice asfáltico e 0.008.

Supóngase que los agregados pétreos tienen la siguiente composición granulométrica:

Mat. Pasa la malla de $\frac{3}{4}$ " y retiene en malla No. 4	35% = 0.35
Mat. Pasa la malla No. 4 y se retiene en malla No. 40	45% = 0.45
Mat. Pasa la malla No. 40 y se retiene en malla No. 200	15% = 0.15
Mat. Pasa la malla No. 200	5% = 0.05
	100% = 1.00

Multiplicando estos porcentajes por las constantes de área se tiene:

0.35	x	0.41	=	0.144 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
0.45	x	2.05	=	0.925 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
0.15	x	15.38	=	2.310 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
0.05	x	53.30	=	2.680 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
SUMA			=	6.059 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo

Contenido de cemento asfáltico =  $6.059 \times 0.008 = 0.0485$  kilogramos de cemento asfáltico por cada kilogramo de material pétreo o sea 4.85 kg de CA por cada 100 kg de material pétreo, o lo que es lo mismo, 4.85 % de cemento asfáltico en peso.

El porcentaje de CA obtenido debe convertirse a porcentaje de producto asfáltico, ya sea un rebajado o una emulsión asfáltica, que se vaya a emplear, tomando en cuenta el

contenido de residuo asfáltico del mismo. A continuación se anotan los índices asfálticos más comunes.

Material pétreo asfáltico	índice
Gravas y arenas o materiales redondeados de baja absorción	0.0055
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas de baja absorción	0.0060
Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y rocas trituradas De mediana absorción	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción	0.0080

## **2.6 CÁNTABRO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

En este acápite se describe el procedimiento que debe seguirse para determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en el laboratorio como para control en obra de las mismas. El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas fabricadas en caliente y de granulometría abierta cuyo tamaño máximo sea menor a 1" (2.5cm). El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia de la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

El procedimiento para la preparación de las muestras es similar al del procedimiento para la preparación de muestras en el ensayo Marshall, usando los mismos moldes y métodos de compactación descritos en el ensayo Marshall, una vez obtenidas las probetas se delimitan la densidad y los huecos de la probeta luego se las introducen a la máquina de Los Ángeles una por una y se pesa determinando así el promedio del porcentaje de desgaste de las muestras.

**Figura 2.16:** *Equipo de Los Ángeles para la realización del ensayo de cántabro*



**Fuente:** *Universidad de San Simón. “Ing. Carlos Alberto Vera Cortez*

## CAPÍTULO III

### DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

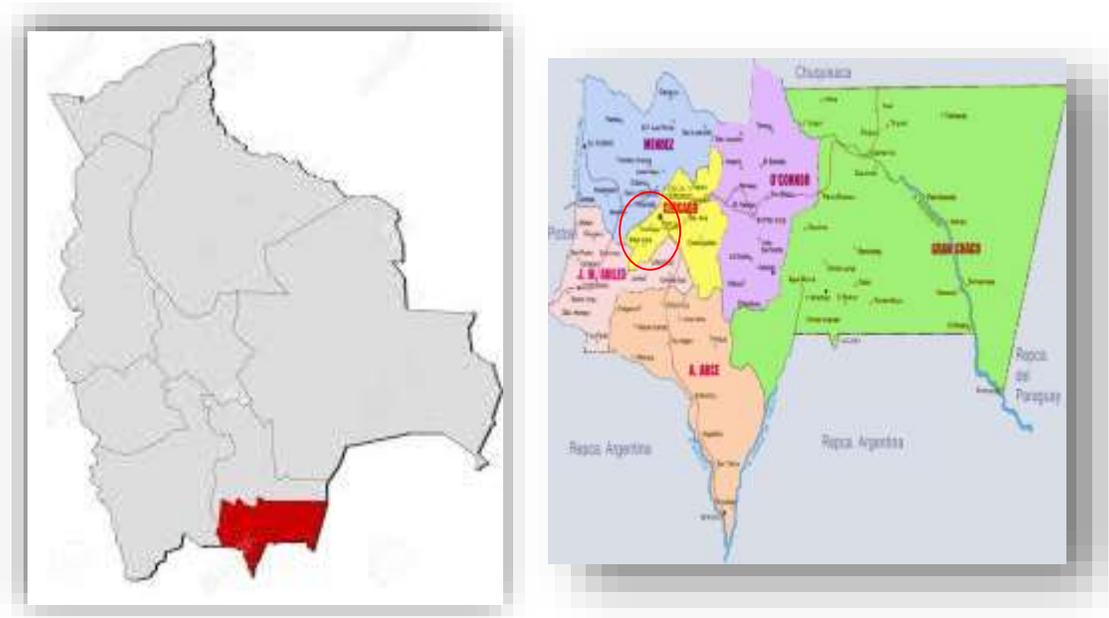
#### 3.1 UBICACIÓN DEL AREA DE PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES

La ubicación de los materiales a utilizar en la investigación tanto como los agregados como el betún se realizó según la disponibilidad de estos materiales. La extracción de los materiales se efectuó del departamento de Tarija.

El material pétreo se extrajo de dos plantas trituradoras y de dos yacimientos naturales los cuales se planteó la extracción de dos ríos conocidos como el del río Guadalquivir y río Tolomosa, en el caso de la extracción del material natural se ejecutó de la planta trituradora de la empresa de Erika y la planta de SEDECA (Charaja)

Se vio por conveniente utilizar para la dosificación de la mezcla asfáltica el BETUPEN85-100, debido a la accesibilidad del material, que fue extraído de la planta de San José de Charaja.

**Figura3.1:** *ubicación de los materiales a utilizar en la investigación*



### 3.1.1 Agregados

Los agregados empleados en el proyecto, fueron seleccionados por una razón fundamental, la de verificar las propiedades de los mismos en la producción de la mezcla asfáltica en caliente. Puesto que el agregado ocupa, por lo menos tres cuartas partes del volumen de la mezcla, no es de sorprender que su calidad sea de gran importancia.

El agregado limita la resistencia de la mezcla, ya que un agregado débil no puede producir mezcla resistente y además afecta mucho la durabilidad y el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente.

#### 3.1.1.1 Yacimientos

Para el objetivo de la presente investigación se estudiarán los materiales pétreos naturales por lo que se realizará la descripción breve de los dos yacimientos a utilizarse.

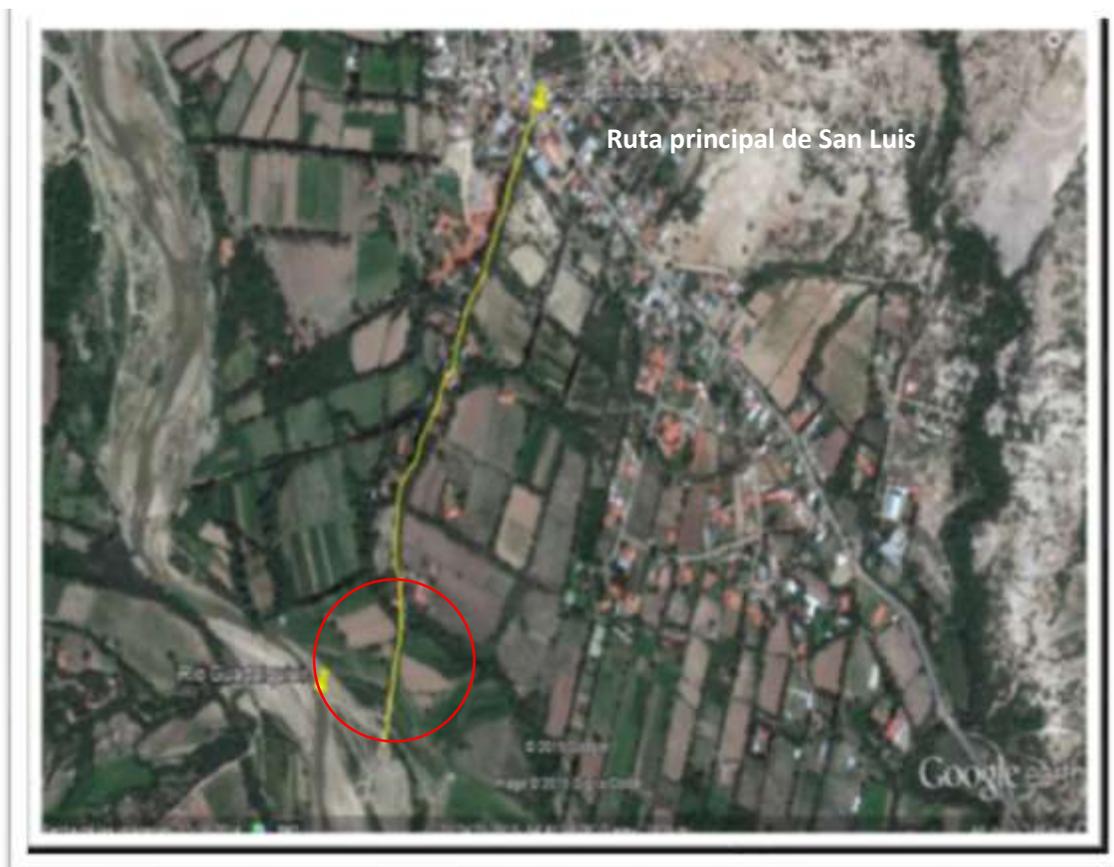
##### 3.1.1.1.1 Yacimiento del río Guadalquivir

La investigación de campo para la selección de los materiales pétreos, la exploración y muestreo de depósitos disponibles, son muy importantes para el estudio de los agregados en mezclas asfálticas en caliente, por lo tanto se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

**Ubicación.-** Los yacimientos o la cantera de “San Luis” se encuentra ubicada al Sur este de la ciudad de Tarija, aproximadamente a 6 Km. de la ciudad.

En lo que sigue se proporciona el tipo de banco a explotarse, es de tipo aluvial, debido a que el agua a lo largo del curso tiene ocasión de erosionar materiales muy diferentes, es normal que los ríos arrastren materiales muy variados, dependiendo de la velocidad de la corriente y del caudal; esto condiciona un gran poder erosivo en las zonas altas del Río Guadalquivir, por lo que el agua arrastra materiales erosionados muy grandes del tamaño de la grava y la arena.

**Figura 3.2:** *Ubicación del río Guadalquivir “Zona San Luis”*



Fuente: *Google earth*

#### 3.1.1.1.2 Yacimiento del rio Tolomosa

**Ubicación.-** los yacimientos se encuentra ubicada a una latitud:  $21^{\circ}37'12.61''S$  y longitud:  $64^{\circ}45'32.60''O$ , aproximadamente a 10 km de la ciudad de Tarija.

En el lugar del muestreo se realizó la separación del agregado grueso y fino con la ayuda del tamiz N#4.

**Figura 3.3:** Ubicación del río Tolomosa (lugar de extracción del material)



**Fuente:** *Google earth*

### **3.1.1.2 Plantas trituradoras**

Para la obtención del material triturado se llevó a cabo la extracción de dos plantas que son la de la empresa Erika situada en el rancho y la planta de SEDECA emplazada en Charaja. Seguidamente se realizara una descripción breve.

#### **3.1.1.2.1 Planta trituradora de la empresa Érika**

La planta de la empresa Erika está ubicada a 8 km carretera a San Lorenzo. El lugar de donde se extrajo el material se encuentra a una Latitud: 21°28'23.48"S y Longitud: 64°45'16.21"O a una distancia aproximadamente a 326 m de la carretera.

**Figura 3.4:** *Ubicación de la planta trituradora de la empresa Erika*



**Fuente:** *Google earth*

#### **3.1.1.2.2 Planta trituradora de SEDECA**

La planta de SEDECA de nombre San José de Charaja, situada en la localidad del mismo nombre está a 37 km aproximadamente de la ciudad de Tarija, con coordenadas: Latitud: 21°43'47.36"S y Altitud: 64°42'54.31"O.

**Figura 3.5:** *ubicación de la planta trituradora de San José de Charaja*



Fuente: *Google earth*

## 3.2 MUESTREO DE LOS MATERIALES

### 3.2.1 Muestreo del material triturado

El muestreo se realizó del producto final de la trituración que está depositado en acopios dependiendo del tamaño del agregado. Los tamaños que presentan los acopios definen a los agregados en grava, gravilla y arena. El material se extrajo del medio del acopio para así evitar que el material este contaminado con diferentes materiales del suelo o una mezcla con otros agregados que no sean del tamaño determinado del acopio a extraer.

**Figura 3.6:** *Extracción del material triturado de la chancadora de San José de Charaja*



**Fuente:** *elaboración propia*

**Figura 3.7:** *material de la chancadora de la empresa de ERIKA*



**Fuente:** *elaboración propia*

### 3.2.2 Muestreo del material natural

El muestreo del material natural se extrajo en las proximidades del curso del río de manera manual con la ayuda de herramientas menores y se utilizó tamices para efectuar la separación de la grava, y arena en el lugar, los tamices que se utilizaron para la separación del agregado son de 1" y el tamiz 4.

**Figura 3.8:** extracción del material del río Guadalquivir (zona San Luis)



**Fuente:** elaboración propia

## 3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

### 3.3.1 Caracterización del material pétreo

La caracterización del material pétreo se practicó mediante ensayos determinados por normativas como la AASHTO Y ASTM. Los ensayos que se ejecutó para la caracterización fueron: La granulometría ASTM D-136; AASHTO T-27, Peso específico de los agregados gruesos ASTM C-127; AASHTO T-85, peso específico de los agregados finos ASTM C-128; AASHTO T-84, desgaste mediante la máquina de Los Ángeles ASTM C-131;AASHTO T-96 y equivalente de arena

### 3.3.1.1 Caracterización del material pétreo triturado

La caracterización del material triturado se realizó de dos plantas, la planta de Charaja (SEDECA) y de la empresa Erika, mediante ensayos necesarios para conocer sus características de los materiales. Estos ensayos están determinados por normas de la AASHTO y ASTM

#### 3.3.1.1.1 Granulometría

El ensayo de la granulometría se llevó a cabo mediante una serie de tamices determinado por normas con este ensayo delimitados cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas del agregado grueso y agregado fino.

- ✓ En el caso de ambas plantas trituradoras como el material no presenta grumos de arcilla u otros materiales, ya que es un material limpio tanto la arena como el material grueso por este motivo se secó la muestra en el horno, muestra que según guías de laboratorio según la norma AASTHO para realizar el reconocimiento de los tamaños de las partículas que presenta el agregado en estudio en el caso de la grava y gravilla se tomó de muestra 5 kg para así efectuar el tamizado manual o con la ayuda del equipo rop-tap y para realizar la granulometría del agregado fino se trabajó con 3 kg previamente secado en el horno.
- ✓ Ya definidas nuestras muestras se llevó acabo el tamizado aproximadamente 15 min como se menciona en la norma, posteriormente se dispondrá los pesos retenidos en cada tamiz desde el tamiz de 1" ya que es el tamaño máximo de nuestras partículas de nuestro agregado hasta lo que se retiene el la base.

**Figura 3.9:** *Tamizado mediante el quipo rop-tap del agregado fino*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 3.10:** *tamizado de la grava y gravilla de manera manual*



Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.1:** Granulometría de los agregados pétreos triturados de la planta de ERIKA

GRANULOMETRIAS DE PRODUCCION			
Tamices	grava (% que pasa)	gravilla (% que pasa)	arena (% que pasa)
1"	100	100	0,00
3/4"	88,07	100	0,00
1/2"	46,18	97,87	100
3/8"	17,73	94,86	99,95
Nº4	0,53	37,27	78,25
Nº8	0,52	1,98	60,49
Nº16	0,5	0,92	52,33
Nº30	0,48	0,66	32,91
Nº50	0,46	0,57	15,62
Nº100	0,4	0,4	4,74
Nº200	0,31	0,31	1,27

Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.2:** Granulometría de los agregados pétreos triturados de la planta de SEDECA

GRANULOMETRIAS DE PRODUCCION			
------------------------------	--	--	--

Tamices	grava (% que pasa)	gravilla (% que pasa)	arena (% que pasa)
1"	100,00	100,00	0,00
3/4"	92,70	100,00	0,00
1/2"	34,60	100,00	100,00
3/8"	6,50	93,60	100,00
N°4	0,70	16,30	98,70
N°8	0,50	11,40	81,10
N°16	0,40	10,50	65,00
N°30	0,34	7,00	45,70
N°50	0,30	4,80	36,00
N°100	0,20	3,20	25,10
N°200	0,10	1,50	9,00

Fuente: *elaboración propia*

### 3.3.1.1.2 Equivalente de arena

El ensayo del equivalente de arena nos da un valor empírico sobre la cantidad de arcilla o limo que presenta el agregado fino o la arena. El valor nos determina si la cantidad de limo o arcilla es permisible.

- ✓ Se deja secar la muestra aproximadamente unos 2 kilos en el horno, para así terminar tres valores que al final se los promediará.

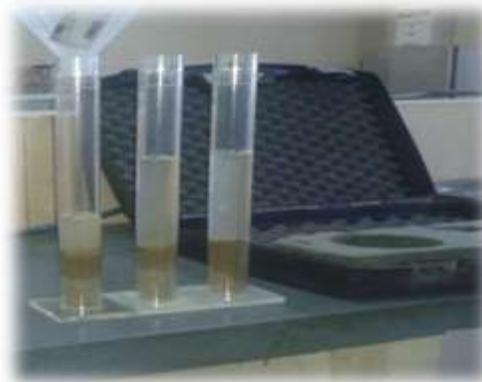
**Figura 3.11:** *Muestra secada en el horno*



**Fuente:** *elaboración propia*

- ✓ Una vez secada la muestra se vacía la muestra hasta la medida que se indica en la probeta, para así posteriormente ser mezclada con un floculante para desprender grumos o arcilla de la muestra, hecho esto se realiza la agitación de la probeta durante 90 ciclos para así eliminar el aire en la muestra.

**Figura 3.12:** *Vaciado del floculante con la muestra*



**Fuente:** *elaboración propia*

- ✓ Ya realizada la agitación se coloca el tubo de irrigación para llenar la solución (cloruro de sodio) hasta la marca superior de la probeta se deja reposando durante unos 20

min para que entre en suspensión la arcilla sobre la arena. Después de la sedimentación se efectúa la lectura superior de la arena y de la arcilla.

**Figura 3.13:** Determinación de las alturas de la arena y arcilla



Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.3:** Resultados del ensayo equivalente de arena del agregado de la planta de ERIKA

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	10,4	12,90	80,62
2	10,6	13,5	78,52
3	10,2	13,10	77,86
		<b>Promedio</b>	<b>79,00</b>
<b>Equivalente de Arena (%)</b>		<b>NORMA</b>	
<b>79,00</b>		<b>&gt; 45%</b>	

Fuente: *elaboración propia*

**Tabla 3.4:** Resultados del ensayo equivalente de arena del agregado de la planta de SEDECA

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	7,3	12,80	57,03
2	7,8	12,7	61,42
3	7,4	12,50	59,20
Promedio			59,22

Equivalente de Arena (%)	NORMA
59,22	> 45%

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.3.1.1.3 Desgaste de los ángeles

Este método de prueba cubre un procedimiento para ensayar partículas de agregado grueso menor que 1 ½" (37,5 mm) para resistencia a la degradación usando la máquina de abrasión de Los Ángeles.

- ✓ Se determinó de acuerdo a la norma ASTM C-131 la faja A para realizar el desgaste de los Ángeles, como la norma define que debe ser 5000 gr de muestra en total por faja en nuestro caso se delimitó muestra retenida del tamiz 3/4", 1/2" y 3/8", esta muestra debe ser lavada hasta que el agua quede cristalina y secada en el horno.

**Figura 3.14:** Muestra retenida del tamiz 3/4", 1/2" y 3/8"



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ La suma del material de los tres tamices debe ser 5kg para así introducir en la máquina del desgaste de los Ángeles a 500 revoluciones durante 30 min y con 12 esferas
- ✓ Transcurrido ya los 30 min se saca el material y se tamiza por la malla N°12 para eliminar el desgaste. Finalmente se pesa el material y se saca el porcentaje perdido según fórmulas especificadas por la Norma.

**Figura 3.15:** *Colocación de la muestra y esferas en la máquina del desgaste de los Ángeles*



**Fuente:** *elaboración propia*

**Tabla 3.5:** *Resumen del ensayo desgaste de los Ángeles del agregado de la planta de ERIKA*

GRADACIÓN A	GRADACIÓN B	GRADACIÓN C	GRADACIÓN D
-------------	-------------	-------------	-------------

TAMIZ	PESO RETENIDO						
1"	-	1/2"	-	1/4"	-	N°8	-
3/4"	2500	3/8"	-	N°4	-		
1/2"	1250						
3/8"	1250						

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A	5000	3942,3	21,15	35% MAX
B	-	-	-	35% MAX
C	-	-	-	35% MAX
D	-	-	-	35% MAX

Fuente:  
propia

elaboración

**Tabla 3.6:** Resumen del ensayo desgaste de los Ángeles del agregado de la planta de SEDECA

GRADACIÓN A		GRADACIÓN B		GRADACIÓN C		GRADACIÓN D	
TAMIZ	PESO RETENIDO						
1"	-	1/2"	-	1/4"	-	N°8	-
3/4"	2500	3/8"	-	N°4	-		
1/2"	1250						
3/8"	1250						

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A	5000	3855,1	22,90	35% MAX
B	-	-	-	35% MAX
C	-	-	-	35% MAX

D	-	-	-	35% MAX
---	---	---	---	---------

**Fuente:** *elaboración propia*

#### 3.3.1.1.4 Peso específico

- **Peso específico del agregado grueso**
  - ✓ Se toma material que se retiene en el tamiz N4 más o menos 5 kg, se realiza el lavado del mismo hasta que el agua quede cristalina, se deja reposando en agua de tal manera que la muestra se sature durante 24hrs.
  - ✓ Se saca la muestra del agua y se efectúa el secado de la muestra con la ayuda de un trapo, se compone el secado superficial de las partículas de la muestra, realizado este procedimiento se ejecuta el pesaje de la muestra saturada con superficie seca.

**Figura 3.16:** *Muestra secada superficialmente*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Se determina el peso de la muestra sumergida para esto se necesita un cesto y una varilla metálica. Primeramente se calibra el equipo con el cesto el cual quede sumergido en el agua.

**Figura 3.17:** *Calibración del equipo*



**Fuente:** *Elaboración*

*propia*

- Cumplida la calibración se debe introducir la muestra en el cesto para así poder pesar la muestra sumergida.

**Figura 3.18:** *Muestra sumergida*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Por último se delimita el peso de la muestra mediante nuestra balanza como se muestra en la fotografía siguiente.

**Figura 3.19:** *Medición del peso de la muestra*



Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.7:** Resumen de la determinación del peso específico de la grava de la planta de ERIKA

MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	%
Nº	SECADA "A"	SATURADA CON	SATURADA DENTRO	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	SUP. SECA "B"	DEL AGUA "C"	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
		(gr)	(gr)		(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	5010,50	5094,50	3173,00	2,61	2,65	2,73	1,68
2	5015,61	5100,00	3152,00	2,57	2,62	2,69	1,68
3	5007,03	5090,97	3047,00	2,45	2,49	2,55	1,68
			PROMEDIO	<b>2,54</b>	<b>2,59</b>	<b>2,66</b>	<b>1,68</b>

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.8:** Resumen del ensayo de peso específico de la gravilla de la planta de ERIKA

MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	%
Nº	SECADA "A"	SATURADA CON	SATURADA DENTRO	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	SUP. SECA "B"	DEL AGUA "C"	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
		(gr)	(gr)		(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	4993,70	5082,60	3130,20	2,56	2,60	2,68	1,78
2	4989,50	5059,80	3120,30	2,57	2,61	2,67	1,41
3	4988,60	5068,40	3100,20	2,53	2,58	2,64	1,60
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,55</b>	<b>2,60</b>	<b>2,66</b>	<b>1,60</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.9:** Resumen del ensayo de peso específico de la grava de la planta de SEDECA

MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	%
Nº	SECADA "A"	SATURADA CON	SATURADA DENTRO	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	SUP. SECA "B"	DEL AGUA "C"	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
		(gr)	(gr)		(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	5146,00	5199,00	3185,00	2,56	2,58	2,62	1,03
2	5140,30	5195,60	3183,00	2,55	2,58	2,63	1,08
3	5142,60	5197,30	3184,00	2,55	2,58	2,63	1,06
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,55</b>	<b>2,58</b>	<b>2,63</b>	<b>1,06</b>

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.10:** Resumen del ensayo de peso específico de la gravilla de la planta de SEDECA

MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	%
Nº	SECADA "A"	SATURADA CON	SATURADA DENTRO	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	SUP. SECA "B"	DEL AGUA "C"	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
		(gr)	(gr)		(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	4899,90	4969,30	3100,60	2,62	2,66	2,72	1,42
2	4897,20	4965,00	3084,20	2,60	2,64	2,70	1,38
3	4880,60	4958,20	3069,10	2,58	2,62	2,69	1,59
			PROMEDIO	<b>2,60</b>	<b>2,64</b>	<b>2,71</b>	<b>1,46</b>

Fuente: *elaboración propia*

- **Peso específico del agregado fino**
- ✓ Se saca una muestra y luego se satura durante 24 horas.

**Figura 3.20:** Muestra saturada



Fuente: *Elaboración propia*

- ✓ Una vez saturada la muestra, se saca el agua y se coloca la muestra en una zona plana amplia, de manera que se pueda estirar para poder secar con una corriente de aire caliente hasta que éste tenga superficie seca.

**Figura 3.21:** *Estirando muestra para ser secada superficialmente*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Para saber que la demostración está justo como se necesita, se coloca dentro de un molde cónico. Si la muestra queda de la misma forma que el molde, entonces se seguirá secando y se volverá a realizar la prueba del cono hasta que la muestra tenga un desmoronamiento superficial, es ahí cuando la muestra está óptima para la realización del ensayo.

**Figura 3.22:** *Material a utilizar para el ensayo de peso específico*



Fuente: *Elaboración propia*

- ✓ Luego de que la muestra está en estado de superficie seca se coloca en un matraz y se añade agua hasta aproximadamente 500ml de su capacidad, luego con sumo cuidado se eliminan los vacíos de aire que se puedan encontrar en la muestra saturada dando vueltas el matraz.
- ✓ Se saca todo el material del matraz colocándolo en un recipiente y se lleva al horno por 24 horas, luego se pesa el material seco.

**Tabla 3.11:** *Resumen del ensayo de peso específico del agregado fino de la planta de ERIKA*

MUESTRA	PESO	PESO	MUESTRA +	PESO DEL AGUA	PESO MUESTRA	VOLUMEN DEL	P. E.	P. E.	P. E.	%
Nº	MUESTRA	DE MATRÁZ	MATRÁZ +	AGREGADO AL	SECADA "A"	MATRÁZ "V"	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	(gr)	AGUA	MATRÁZ "W"	(gr)	(ml)	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
			(gr)	(ml) ó (gr)				(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	500	212,7	1010,6	297,90	485,00	500,00	2,40	2,47	2,59	3,00
2	500	212,7	1022,6	309,90	484,60	500,00	2,55	2,63	2,77	3,08
3	500	212,7	1015,9	303,20	485,90	500,00	2,47	2,54	2,66	2,82

PROMEDIO	2,47	2,55	2,68	2,97
----------	------	------	------	------

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.12:** Resumen del ensayo de peso específico del agregado fino de la planta de SEDECA

MUESTRA	PESO	PESO	MUESTRA +	PESO DEL AGUA	PESO MUESTRA	VOLUMEN DEL	P. E.	P. E.	P. E.	%	
Nº	MUESTRA	DE MATRÁZ	MATRAZ +	AGREGADO AL	SECADA "A"	MATRÁZ "V"	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN	
	(gr)	(gr)	AGUA	MATRÁZ "W"	(gr)	(ml)	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )		
			(gr)	(ml) ó (gr)				(gr/cm <sup>3</sup> )			
1	500	177,4	987,9	310,50	489,20	500,00	2,58	2,64	2,74	2,16	
2	500	177,4	982,6	305,20	485,60	500,00	2,49	2,57	2,69	2,88	
3	500	177,4	980,5	303,10	486,70	500,00	2,47	2,54	2,65	2,66	
							PROMEDIO	2,52	2,58	2,69	2,57

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.3.1.2 Caracterización del material pétreo natural

La caracterización del material natural se realizó de dos ríos de Tarija, del río de Tolomosa y del río Guadalquivir (cantera de San Luis), mediante ensayos necesarios para conocer sus características de los materiales. Estos ensayos están determinados por normas de la AASHTO y ASTM.

#### 3.3.1.2.1 Granulometría

Para practicar la granulometría del material natural se efectuó tanto para el agregado grueso y fino mediante la serie de tamices determinados para hacer el ensayo para así poder conocer los diferentes tamaños

- Se realizó el tamizado del material de ambos ríos de la misma manera, primeramente se secó la muestra en el horno.

- Ya seca la muestra se pesa 5 kg para realizar el tamizado del agregado grueso que se ejecutó de tamaño máximo de 1”.

**Figura 3.23:** *Tamizado del agregado grueso*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Para la arena se procedió a secar la muestra para así posteriormente pesar 3 kg y llevar a cabo el tamizado mediante la serie de tamices para el agregado fino.

**Figura 3.24:** *Tamizado del agregado fino*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Concluido el tamizado tanto del agregado grueso como del fino se lleva a cabo el pesaje de la muestra retenida de cada tamiz para así posteriormente determinar los porcentajes.

**Tabla 3.13:** Granulometría de los agregados pétreos naturales del rio Guadalquivir

GRANULOMETRIAS QUE PRESENTA LA CANTERA DE SAN LUIS		
Tamices	grava (% que pasa)	arena (% que pasa)
1"	100,00	0,00
¾"	92,40	0,00
½"	64,14	100,00
3/8"	52,10	100,00
Nº4	5,60	99,48
Nº8	2,14	82,11
Nº16	2,07	64,68
Nº30	2,02	44,75
Nº50	1,94	15,24
Nº100	1,72	3,19
Nº200	1,14	1,25

Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.14:** Granulometría de los agregados pétreos naturales del rio Tolomosa

--

GRANULOMETRIAS QUE PRESENTA EL RIO DE TOLOMOSA		
Tamices	grava (% que pasa)	arena (% que pasa)
1"	100,00	0,00
3/4"	93,30	0,00
1/2"	68,30	100,00
3/8"	52,00	100,00
N°4	10,00	96,00
N°8	4,00	77,30
N°16	2,30	60,80
N°30	1,62	40,30
N°50	1,08	18,30
N°100	1,02	4,50
N°200	0,96	1,80

**Fuente:** *Elaboración propia*

### 3.3.1.2.2 Equivalente de arena

El procedimiento para realizar el ensayo del equivalente de arena se realizó de la misma manera que se llevó a cabo para el material triturado.

- Se secó la muestra aproximadamente entre 1500 a 2000 gr del agregado que pasa el tamiz N4 (agregado fino), se cumple el secado en el horno.
- Secada la muestra se introduce la muestra en las probetas graduadas, se utilizó tres probetas por río para así poder sacar un promedio de los tres datos.

- Una vez introducida la muestra se agrega cloruro de calcio y se deja reposando durante 10 min.
- Trascurrido el tiempo se hace el tapado de las probetas mediante tapones para así ejecutar la agitación durante 90 ciclos para eliminar las burbujas del material.
- Se introduce el tubo irrigador para agregar cloruro de calcio hasta la marca superior de las probetas aprox. 38cm hecho esto se deja reposando durante 20 min para que la arcilla quede en suspensión sobre la arena.
- Pasado el tiempo necesario se realiza la lectura de las alturas tanto de la arcilla como de la arena.

**Figura 3.25:** Lectura de arena y arcilla



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.15:** Resultados del ensayo equivalente de arena del agregado natural del río Guadalquivir

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	9,5	15,60	60,90
2	9,2	15,2	60,53
3	9,3	15,00	62,00

<b>Promedio</b>	<b>61,14</b>
-----------------	--------------

<b>Equivalente de Arena (%)</b>	<b>NORMA</b>
<b>61,14</b>	<b>&gt; 45%</b>

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.16:** *Resultados del ensayo equivalente de arena del agregado del rio Tolomosa*

<b>N° de Muestra</b>	<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>Equivalente de Arena (%)</b>
	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	
1	9,5	14,90	63,76
2	10	15,8	63,29
3	9,6	15,30	62,75
	<b>Promedio</b>		<b>63,26</b>

<b>Equivalente de Arena (%)</b>	<b>NORMA</b>
<b>63,26</b>	<b>&gt; 45%</b>

Fuente: *elaboración propia*

### 3.3.1.2.3 Desgaste de los ángeles

Este método de prueba cubre un procedimiento para ensayar partículas de agregado grueso menor que 1 ½" (37,5 mm) para resistencia a la degradación usando la máquina de abrasión de Los Ángeles.

- ✓ Se separa muestra retenida entre los tamices (3/4"; 1/2", y 3/8") a utilizar según la faja que se determinó mediante la granulometría de nuestro material.
- ✓ Una vez determinada la muestra se efectúa el lavado y secado mediante el horno durante 24 hrs.
- ✓ Realizado esto se debe introducir la muestra de los diferentes tamices, que la suma debe dar 5000 gr, acompañado de las 12 esferas y mediante 500 revoluciones durante 30 min.

**Figura 3.26:** *Preparación de la muestra*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Una vez concluido el tiempo se debe sacar la muestra de la máquina se realiza el tamizado mediante el tamiz N12, para así llevar a cabo el lavado que posteriormente se lleva al horno para el secado de la muestra durante 24 hrs. Secada la muestra se

pesa para así poder llevar a gabinete los datos y determinar la degradación como pérdida de porcentaje.

- ✓ Este procedimiento se ejecuta para tres muestras de 5000 gr por yacimiento para así realizar un promedio de los resultados.

**Figura 3.27:** Realización del ensayo de desgaste de los Angeles



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.17:** Resumen del ensayo desgaste de los Ángeles del agregado natural del río Guadalquivir

GRADACIÓN A		GRADACIÓN B		GRADACIÓN C		GRADACIÓN D	
TAMIZ	PESO RETENIDO						
1"	-	1/2"	-	1/4"	-	N°8	-
3/4"	2500	3/8"	-	N°4	-		
1/2"	1250						
3/8"	1250						

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
----------	--------------	------------	---------------	---------------------

A	5000	4065,2	18,70	35% MAX
B	-	-	-	35% MAX
C	-	-	-	35% MAX
D	-	-	-	35% MAX

Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.18:** Resumen del ensayo desgaste de los Ángeles del agregado natural del río Tolomosa

GRADACIÓN A		GRADACIÓN B		GRADACIÓN C		GRADACIÓN D	
TAMIZ	PESO RETENIDO						
1"	-	1/2"	-	1/4"	-	N°8	-
3/4"	2500	3/8"	-	N°4	-		
1/2"	1250						
3/8"	1250						

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A	5000	4045,6	19,09	35% MAX
B	-	-	-	35% MAX
C	-	-	-	35% MAX
D	-	-	-	35% MAX

Fuente:

elaboración propia

### 3.3.1.2.4 Peso específico

- **Peso específico del agregado grueso**
  - ✓ Se toma material retenido en el tamiz #4, aproximadamente 5 kg. Se efectúa el lavado de la muestra para eliminar los finos y se deja reposando durante 24 hrs dentro una bandeja con agua.
  - ✓ Luego se retira la muestra para ser secada superficialmente con la ayuda de una toalla para así ser pesada la muestra.
  - ✓ Para determinar el peso de la muestra sumergida, primero se debe calibrar la balanza con el cesto metálico sumergido en el agua.

**Figura 3.28:** *Calibración de la balanza con el cesto sumergido*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Posteriormente se debe colocar la muestra en el cesto metálico y mediante pesas con diferentes pesos se determina el peso de la muestra sumergida.

**Figura 3.29:** *Muestra sumergida*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Luego de sumergir la muestra se coloca en una bandeja y se la deja en el horno durante 24 hrs y una vez secada se pesa la muestra.
- ✓ Este procedimiento se hace tres veces para decidir un promedio.

**Tabla 3.19:** Resumen del ensayo de peso específico del agregado grueso del río Guadalquivir

MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	%
Nº	SECADA "A"	SATURADA CON	SATURADA DENTRO	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	SUP. SECA "B"	DEL AGUA "C"	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
		(gr)	(gr)		(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	4895,50	4965,40	3015,90	2,51	2,55	2,60	1,43
2	4899,30	4969,30	3019,20	2,51	2,55	2,61	1,43
3	4900,20	4970,60	3022,30	2,52	2,55	2,61	1,44
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,51</b>	<b>2,55</b>	<b>2,61</b>	<b>1,43</b>

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.20:** Resumen del ensayo de peso específico del agregado grueso del río Tolomosa

MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	%
Nº	SECADA "A"	SATURADA CON	SATURADA DENTRO	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	SUP. SECA "B"	DEL AGUA "C"	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
		(gr)	(gr)		(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	4929,00	5003,00	3052,00	2,53	2,56	2,63	1,50
2	4925,00	5002,30	3045,00	2,52	2,56	2,62	1,57
3	4926,70	5001,50	3048,00	2,52	2,56	2,62	1,52
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,52</b>	<b>2,56</b>	<b>2,62</b>	<b>1,53</b>

**Fuente:** *Elaboración propia*

- **Peso específico del agregado fino**
  - ✓ Para la determinación del valor de peso específico se debe dejar saturar muestra durante 24 hrs aproximadamente 2 kg para así poder practicar tres veces el ensayo para establecer un promedio, y el material que se utiliza es una secadora, el cono, una varilla, matraz y una balanza.

**Figura 3.30:** *Matraz de 500ml, cono y varilla*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Una vez saturada la muestra se la extiende en una superficie plana para poder realizar el secado uniforme de la muestra.

**Figura 3.31:** *Secado de la arena uniformemente*



Fuente: *Elaboración propia*

- ✓ Se realiza el secado con la ayuda de una secadora y para saber que la superficie está relativamente seca se verifica con el cono metálico y mediante tres capas y por cada capa con 25 golpes se efectúa el llenado del cono con la muestra.
- ✓ Si la muestra presenta un desmoronamiento superficial, es ahí cuando la muestra está óptima para la realización del ensayo.
- ✓ Se ejecutó el pesaje del matraz a utilizar.
- ✓ Una vez que esta lista la muestra con superficie seca se pesa 500 gr y se coloca en un matraz de 500ml y se llena de agua el matraz hasta su máxima capacidad que en este caso sería 500ml.
- ✓ Luego de pesar el matraz con muestra y agua se debe vaciar en un recipiente para llevarlo al horno durante 24 hrs a una temperatura constante, y determinamos el peso de la muestra seca.

**Tabla 3.21:** *Resumen del ensayo de peso específico del agregado fino del río Guadalquivir*

MUESTRA	PESO	PESO	MUESTRA +	PESO DEL AGUA	PESO MUESTRA	VOLUMEN DEL	P. E.	P. E.	P. E.	%
Nº	MUESTRA	DE MATRÁZ	MATRAZ +	AGREGADO AL	SECADA "A"	MATRÁZ "V"	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	(gr)	AGUA	MATRÁZ "W"	(gr)	(ml)	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
			(gr)	(ml) ó (gr)				(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	500	213,2	1020,3	307,10	488,10	500,00	2,53	2,59	2,70	2,38
2	500	213,2	1015,9	302,70	485,90	500,00	2,46	2,53	2,65	2,82
3	500	213,2	1010,2	297,00	486,30	500,00	2,40	2,46	2,57	2,74
PROMEDIO							<b>2,47</b>	<b>2,54</b>	<b>2,64</b>	<b>2,65</b>

Fuente: *elaboración propia*

**Tabla 3.22:** Resumen del ensayo de peso específico del agregado fino del río Tolomosa

MUESTRA	PESO	PESO	MUESTRA +	PESO DEL AGUA	PESO MUESTRA	VOLUMEN DEL	P. E.	P. E.	P. E.	%
Nº	MUESTRA	DE MATRÁZ	MATRAZ +	AGREGADO AL	SECADA "A"	MATRÁZ "V"	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	(gr)	AGUA	MATRÁZ "W"	(gr)	(ml)	(gr/cm <sup>3</sup> )	SUP. SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	
			(gr)	(ml) ó (gr)				(gr/cm <sup>3</sup> )		
1	500	213,2	1019,9	306,70	486,30	500,00	2,52	2,59	2,71	2,74
2	500	213,2	1022,41	309,21	484,55	500,00	2,54	2,62	2,76	3,09
3	500	213,2	1018,9	305,70	485,90	500,00	2,50	2,57	2,70	2,82
PROMEDIO							<b>2,52</b>	<b>2,59</b>	<b>2,72</b>	<b>2,88</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.23:** Resumen General de la caracterización de los agregados utilizados en la investigación.

CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACION				
ENSAYOS	PLANTA ERIKA	PLANTA SEDECA	YACIMIENTO GUADALQUIVIR	YACIMIENTO TOLOMOSA
Peso Específico de la Grava (gr/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,62	2,61	2,62
Peso Específico de la Gravilla (gr/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,77	-	-
Peso Específico de la Arena (gr/cm <sup>3</sup> )	2,68	2,74	2,64	2,72
Desgaste de los Ángeles del agregado	21,20	22,87	18,66	19,18
Equivalente de Arena (%)	79,00	59,22	61,14	63,26

Fuente: elaboración propia

### 3.3.2 Caracterización del cemento asfáltico

La caracterización del cemento asfáltico se practicó mediante ensayos necesarios para conocer sus propiedades del ligante a emplear en la investigación. El BETUPEN 85-100 de procedencia de Brasil es el que se empleó, se extrajo de la planta de San José de Charaja (SEDECA).

Mediante ensayos necesarios que rigen las normas ASTM y AASHTO se delimitarán las propiedades del asfalto y su resistencia ante ellas.

#### 3.3.2.1 Ensayo de penetración

La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, el cual se basó en la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados.

- ✓ Se calienta en una hornalla el asfalto que utilizaremos (BETUPEN 85-100), que posteriormente se colocaran en unas pequeñas taras (3) el asfalto calentado, deberá enfriar para así poder poner a baño maría a temperatura de 25°C durante 1 hora.

**Figura 3.32:** Preparación de la muestra y colocación de las mismas en baño maría



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Pasado el tiempo mencionado se deberá sacar la tara para colocar en el penetrometro y debemos colocar la aguja en el instrumento.

**Figura 3.33:** Preparación de la muestra en el penetrometro



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Debemos apoyar la aguja en la muestra esta debe apenas tocar la muestra y mediante un cronómetro calculamos 5 segundos y observamos en el penetrometro cuanto penetra la aguja en la muestra, este procedimiento se lo realiza para las tres taras.

### 3.3.2.2 Ensayo de punto de inflamación

Cuando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El siguiente ensayo, mide a que temperatura el asfalto puede ser calentado con seguridad, sin que se produzca una inflamación instantánea de los elementos combustibles que éste contiene. Sin embargo esta temperatura de inflamación está por debajo del punto de combustión.

- ✓ Para materializar este ensayo, se utiliza “El vaso Cleveland”, que consiste en llenar en el vaso de bronce con una determinada cantidad de asfalto.

**Figura 3.34:** Equipo para realizar el ensayo de punto de inflamación (“el vaso Cleveland”)



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Y mediante se va calentando el asfalto con la ayuda de fósforos hacemos pasar por la muestra hasta que llegue el punto en que se desprende una pequeña inflamación y damos lectura al termómetro para medir la temperatura del punto de inflamación. Y

pasados unos segundos se vuelve a pasar una llama por la superficie y se delimitará a que temperatura se lleva a cabo el punto de combustión.

### 3.3.2.3 Ensayo de ductilidad

Este ensayo se efectúa colocando el cemento asfáltico en un molde (normalizado), llevándolo a una temperatura de 25°C

- ✓ Se debe preparar los moldes que serán utilizados, mediante una mezcla de vaselina y talco que con la ayuda de una brocha se debe pasar por los moldes para evitar que el asfalto se pegue en las paredes de los mismos.
- ✓ Una vez calentado el asfalto se debe vaciar en los moldes hasta la superficie y se debe dejar enfriar las muestras a temperatura ambiente aproximadamente 30 a 40 min.

**Figura 3.35:** *Vaciado del asfalto en los moldes*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ El ductilometro debe estar a temperatura de 25°C, para así poder colocar las muestras dentro del agua que deben ser enganchadas los anillos de cada extremo de los moldes a las clavijas del ductilometro.

**Figura 3.36:** *Ensayo para la determinación de la ductilidad*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Se debe medir el momento en el que ocurre la ruptura de las muestras y medir la distancia a la que llega a una velocidad constante de 5cm/min.
- ✓ Se debe tener en cuenta que la muestra no debe tener contacto con la superficie ni el fondo caso contrario se repite el ensayo.

#### **3.3.2.4 Ensayo punto de ablandamiento**

Los asfaltos son materiales termoplásticos, que son afectados por los cambios de temperatura. El punto de ablandamiento se define como la temperatura que necesita el

asfalto para alcanzar un determinado estado de fluidez, este ensayo se realiza con el aparato anillo y bola.

- ✓ Se debe calentar el asfalto para verter en los anillos y debe estar en una superficie plana, se debe enfriar durante 30 min a temperatura ambiente.

**Figura 3.37:** *Vaciado de asfalto en los anillos*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Una vez enfriados los anillos se debe ensamblar el aparato con los anillos en un vaso de vidrio con agua destilada de capacidad más o menos de 800 ml, este frasco debe estar con agua destilada una vez ensamblado el aparato se debe colocar con unas pinzas las bolas centradas en los anillos, se debe colocar la muestra a una temperatura de 5 °C durante 15 min.

**Figura 3.38:** *Preparación de la muestra a 5 °C*



**Fuente:** *elaboración propia*

- ✓ Una vez enfriada la muestra se deberá aplicar calor, debe ser constante el aumento de temperatura ya sea con la ayuda de una hornalla, se deberá dar lectura del termómetro en el momento que cada una de las bolas cae sobre la placa inferior.

**Figura 3.39:** *Momento en que las bolas chocan la placa inferior*



**Fuente:** *Elaboración propia*

### 3.3.2.5 Ensayo de la densidad

Mediante el ensayo se determinara la densidad del asfalto con ayuda de los picnómetros.

- ✓ Se determina el peso de los tres picnómetros que utilizaremos para el ensayo, estos deben estar bien secos y limpios.

**Figura 3.40:** *Picnómetros*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Se llenaran los picnómetros con agua destilada y se colocaran sus tapas respectivamente girándolas, se debe introducir en baño maría durante 15 min.
- ✓ Pasado el tiempo se debe sacar los picnómetros y secarlos superficialmente y se debe pesarlos.

**Figura 3.41:** *Picnómetros con agua destilada en bano maria*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Se debe calentar el asfalto ligeramente para verter en los picnómetros cuidadosamente sin manchar las paredes, el asfalto debe vaciarse aproximadamente por la mitad de los picnómetros.

**Figura 3.42:** *Picnómetros con asfalto*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Se debe dejar enfriar a temperatura ambiente los picnómetros con sus respectivas tapas y se delimita el peso de los mismos.
- ✓ Se debe terminar de llenar los picnómetros con agua destilada, tapar firmemente y sumergir los picnómetros en baño maría a 25 °C.
- ✓ Teniendo todos los pesos se puede decidir la densidad del asfalto.

**Figura 3.43:** *Picnómetros con asfalto y agua destilada en baño maría*



**Fuente:** *elaboración propia*

**Tabla 3.24:** *Resumen de la caracterización del cemento asfáltico BETUPEN 85-100*

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	38,2	37,1	38,3			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	63,06	62,4	63,0			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	55	56,6	58,9			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	63,37	62,8	63,4			
Peso Específico	grs./cm <sup>3</sup>	1,016	1,015	1,014	1,015	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>250	>255	>253	>253	>232	-
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	115	118	120	118	100	-
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	Lectura Nº1	88	89	86			
	Lectura Nº2	92	92	86			
	Lectura Nº3	97	95	94			
	Promedio	mm.	92	92	89	91	85
Viscosidad Cinemática 135 °C	seg				No se realizó		-
Ensayo de la mancha					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente gasolina standart					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente gasolina-xilol, % xilol					No se realizó	NEGATIVO	
Solvente heptano-xilol, % xilol					No se realizó	NEGATIVO	

Ensayo de película delgada en horno, 32 mm, 163°C, 5 hrs.							
* Pérdida en masa	%				No se realizó		
* Penetración del residuo, penetración original	%				No se realizó	47	
Índice de susceptibilidad térmica					No se realizó	-1	1
Punto de ablandamiento	°C	42,0	43,0	43,0	43	43	53

Fuente: elaboración propia

### 3.4 SELECCIÓN DE LA GRADACIÓN GRANULOMETRICA

Durante el proceso y análisis de la combinación granulométrica para su aplicación en el presente proyecto de investigación y conforme con los requisitos exigidos por las especificaciones técnicas, se realizó la evaluación de las fajas correspondientes.

Tabla 3.25: Requisitos sobre Gradación Granulométrica

TAMIZ	GRADACION						
	A	B	C	D	E	F	G
1 1/2"	100						
1"	95-100	100	100				
3/4"	78-95	95-100	95-100	100		100	
1/2"		68-86	68-86	95-100	100		100
3/8"	54-75	56-78	56-78	74-92	95-100		95-100
N°4	36-58	38-60	38-60	48-70	75-90	45-65	30-50

<b>N°8</b>	25-45	27-47	27-47	33-53	62-82	33-53	5-15
<b>N°16</b>		18-37	18-37	22-40	38-58		
<b>N°30</b>	11-28	11-28	13-28	15-30	22-42		
<b>N°50</b>		6-20	9-20	10-20	11-28	10--20	
<b>N°200</b>	0-8	0-8	4-8	4-9	2-10	3-8	2-5

Fuente: Ing. Orlando Mendieta Pacheco

Según la granulometría y el tamaño máximo que presenta el agregado pétreo tanto del material natural como del triturado se dispuso trabajar con la gradación "B".

### 3.4.1 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO DE LA PLANTA DE ERIKA

Tabla 3.26: Porcentajes del agregado

PORCENTAJES DE COMBINACIÓN DEL AGREGADO		
GRAVA	GRAVILLA	ARENA
%	%	%
28	22	50

Fuente: Elaboración propia

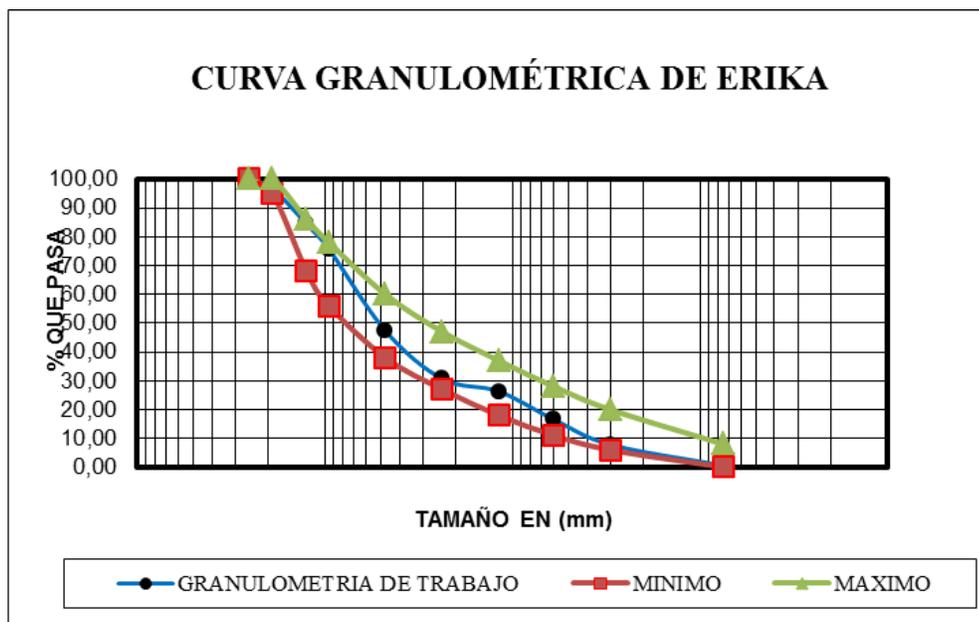
Tabla 3.27: Granulometría de trabajo del agregado de la planta de ERIKA

TAMAÑO TAMIZ(MM)	% PASA DE LA MUESTRA	MÍNIMO	MAXIMO
25.4	100.00	100	100
19.0	96.65	95	100

12.5	84.42	68	86
9.50	75.75	56	78
4.75	47.35	38	60
2.36	30.66	27	47
1.18	26.33	18	37
0.60	16.53	11	28
0.30	7.84	6	20
0.08	0.55	0	8

Fuente: *Elaboracion propia*

Figura 3.44: Curva granulométrica del agregado de la planta de ERIKA



Fuente: elaboración propia

### 3.4.2 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO DE LA PLANTA DE SEDECA

Tabla 3.28: Porcentajes del agregado

PORCENTAJES DE COMBINACIÓN DEL AGREGADO		
GRAVA	GRAVILLA	ARENA
%	%	%
27	24	49

Fuente: Elaboración propia

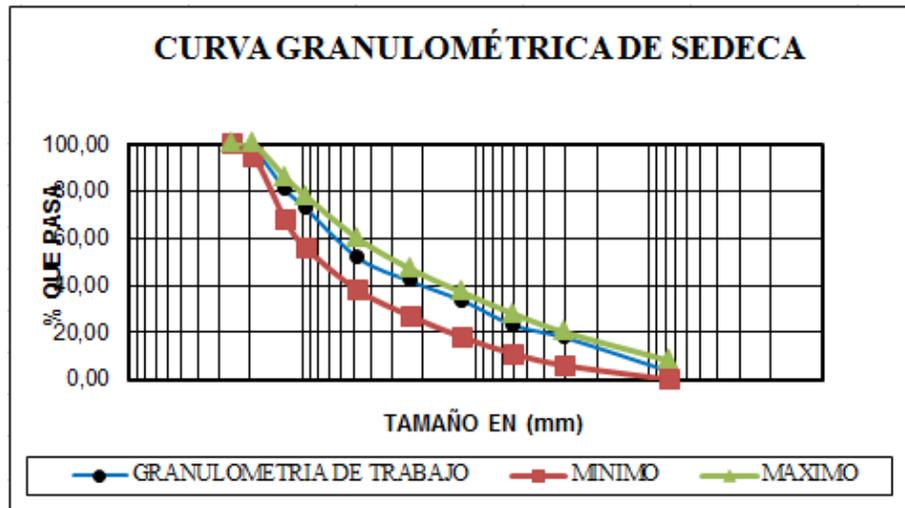
Tabla 3.29: Granulometría de trabajo del agregado de la planta de SEDECA

TAMAÑO TAMIZ	% PASA DE LA MUESTRA	MÍNIMO	MÁXIMO
25,4	100,00	100	100
19,0	98,00	95	100
12,5	80,88	68	86
9,50	72,84	56	78
4,75	51,79	38	60
2,36	41,80	27	47
1,18	33,55	18	37
0,60	23,09	11	28
0,30	17,73	6	20

0,08	3,45	0	8
------	------	---	---

Fuente: *elaboracion propia*

**Figura 3.45:** Curva granulométrica del agregado de la planta de SEDECA



Fuente: *Elaboración propia*

### 3.4.3 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO DEL RIO GUADALQUIVIR

**Tabla 3.30:** porcentajes del agregado

PORCENTAJES DE COMBINACIÓN DEL AGREGADO	
GRAVA	ARENA
%	%
50	50

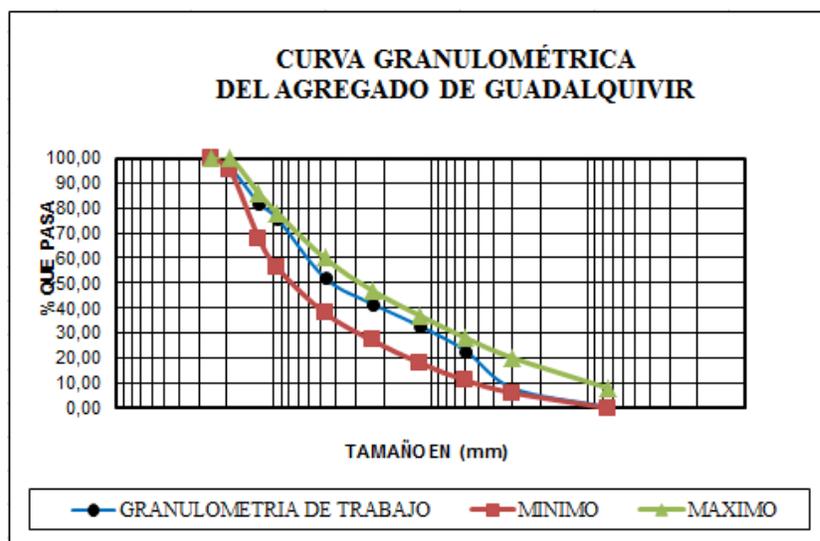
Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.31:** Granulometría de trabajo del agregado del rio Guadalquivir

TAMAÑO TAMIZ	% PASA DE LA MUESTRA	MINIMO	MAXIMO
25,4	100,00	100	100
19,0	96,17	95	100
12,5	81,93	68	86
9,50	75,86	56	78
4,75	52,16	38	60
2,36	41,66	27	47
1,18	32,84	18	37
0,60	22,78	11	28
0,30	7,86	6	20
0,08	0,41	0	8

Fuente: Elaboracion propia

Figura 3.46: Curva granulométrica del agregado del rio Guadalquivir



Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO DEL RIO TOLOMOSA

**Tabla 3.32:** Porcentajes del agregado

PORCENTAJES DE COMBINACIÓN DEL AGREGADO	
GRAVA	ARENA
%	%
53	47

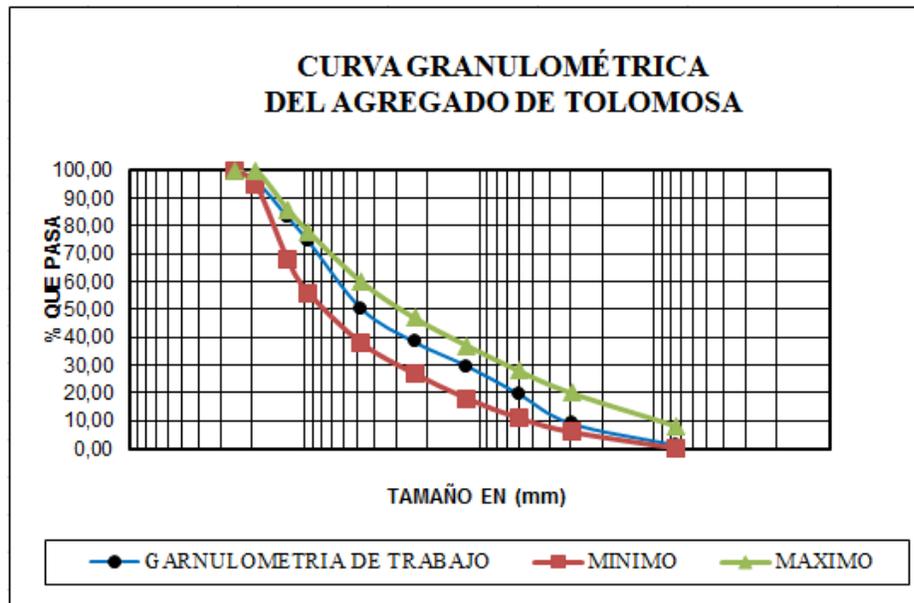
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.33:** Granulometría de trabajo del agregado del rio Tolomosa

TAMAÑO TAMIZ	% PASA DE LA MUESTRA	MÍNIMO	MÁXIMO
25,4	100,00	100	100
19,0	96,44	95	100
12,5	83,17	68	86
9,50	74,51	56	78
4,75	50,32	38	60
2,36	38,33	27	47
1,18	29,65	18	37
0,60	19,64	11	28
0,30	8,99	6	20
0,08	1,16	0	8

**Fuente:** Elaboracion propia

**Figura 3.47:** Curva granulométrica del agregado de del rio Tolomosa



Fuente: *Elaboración propia*

### 3.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO MÍNIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO POR EL PROCEDIMIENTO DEL ÁREA SUPERFICIAL

Este procedimiento es aplicable a materiales graduados que contienen cierta cantidad de finos. Primeramente conociendo la composición granulométrica del material pétreo, se calcula el contenido de cemento asfáltico empleando el método que a continuación se indica. Este método está basado en la estimación de la superficie de los agregados pétreos por cada kilogramo de material. Para hacer dicha estimación, se hace uso de las siguientes constantes de área en metros cuadrados por kilo de material pétreo.

Material pasa malla 1-1/2" y se retiene en 3/4"	0.27 m <sup>2</sup> /kg	mat.
Material pasa malla 3/4" y se retiene en No. 4	0.41 m <sup>2</sup> /kg	mat.
Material pasa malla No. 4 y se retiene en No. 40	2.05 m <sup>2</sup> /kg	mat.
Material pasa malla No. 40 y se retiene en No. 200	15.38 m <sup>2</sup> /kg	mat.
Material pasa malla No. 200	53.30 m <sup>2</sup> /kg	mat.

Cada una de estas constantes se multiplica por los porcentajes de partículas entre las mallas correspondientes, dando por resultado que se obtenga determinadas superficies por

kilogramo de material. Suman todas las superficies calculadas y el resultado se multiplica por el índice asfáltico, que varía de 0.0055 a 0.01385, de acuerdo con la rugosidad y la porosidad de los agregados. Con el consiguiente ejemplo podrá verse claramente la aplicación de las constantes de área y del índice asfáltico. Para el objeto deseado se considerara un índice asfáltico. Para el objeto deseado se considerara un índice asfáltico e 0.008.

Los agregados pétreos tienen la siguiente composición granulométrica:

Mat. Pasa la malla de 1" y retiene en malla No. 4	2% =	0.02
Mat. Pasa la malla de ¾" y retiene en malla No. 4	46.21% =	0.4621
Mat. Pasa la malla No. 4 y se retiene en malla No. 40	28.7 % =	0.287
Mat pasa la malla No. 40 y se retiene en malla No. 200	19.64% =	0.1964
Mat pasa la malla No. 200	3.45% =	0.0345
	100% =	1.00

Multiplicando estos porcentajes por las constantes de área se tiene:

0.02	x	0.27	=	0.0054 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
0.4621	x	0.41	=	0.1895 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
0.287	x	2.05	=	0.5884 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
0.1964	x	15.38	=	2.2516 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
0.0345	x	53.30	=	1.8380 m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo
SUMA			=	4.8729m <sup>2</sup> /kg	de material	pétreo

Contenido de cemento asfáltico =  $4.8729 \times 0.008 = 0.03898$  kilogramos de cemento asfáltico por cada kilogramo de material pétreo o sea 3.898 kg de CA por cada 100 kg de material pétreo, o lo que es lo mismo, 4 % de cemento asfáltico en peso.

### **3.6 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DEL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL**

El siguiente procedimiento será aplicado solamente a mezclas asfálticas en caliente, preparadas con cemento asfáltico y agregados no mayores de 2.54 cm (1 pulg.), el diámetro del molde Marshall será de 101.6 mm (4 pulg.).

Los materiales que se utilizan para llevar acabo la dosificación de las briquetas son los siguientes:

- ✓ Molde de Compactación.
- ✓ Martillo de compactación
- ✓ Extractor de Muestras de Asfaltos.
- ✓ Soporte para molde
- ✓ Mordaza.
- ✓ Prensa.
- ✓ Discos de Papel.
- ✓ Horno.
- ✓ Termómetros blindados.
- ✓ Balanza.
- ✓ Guantes de cuero.
- ✓ Bandejas taradas
- ✓ Espátulas

#### **3.6.1 Preparación de los especímenes**

- ✓ Secar los agregados hasta obtener peso constante entre 105°C y 110°C. Fijada la composición en tanto por ciento de cada árido para obtener la granulometría total de la mezcla que se desea, se calcula el peso necesario de cada uno de ellos para realizar el mezclado de 18 especímenes, y un galón de cemento asfáltico.
- ✓ Una vez calentado el material se debe vaciar el asfalto que previamente se determinó su peso para cada espécimen, ya que cada espécimen debe poseer un peso de 1200 gr, este peso debe determinarse de la combinación de los agregados y el cemento asfáltico.

**Figura 3.48:** *Determinación del peso del agregado más el peso del asfalto (1200 gr)*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Una vez obtenido la combinación de estos materiales se calienta y se materializa la mezcla hasta que el ligante asfáltico cubra todo el agregado pétreo.

**Figura 3.49:** *Mezclado del asfalto con el agregado pétreo en una hornalla*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Obtenida la mezcla se efectúa la compactación a una temperatura aproximada de 143 °C, se debe colocar un papel filtro en la base del molde, posteriormente vaciar la

mezcla cuidadosamente en los moldes determinados para el método Marshall sin olvidar que tanto los moldes cilíndricos como el martillo determinado para la compactación deben estar previamente calentados aproximadamente a la misma temperatura de la mezcla asfáltica a compactar.

**Figura 3.50:** Compactación de la mezcla a 75 golpes



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ La compactación se ejecutó a 75 golpes por cada cara del espécimen.
- ✓ Después de la compactación se debe dejar reposar a temperatura ambiente durante 2 hrs, remover la base y colocar el molde y collar sobre el extractor de muestras. Con el molde y el collar de extensión hacia arriba en la máquina de ensayo, aplicar presión

y forzar el espécimen dentro del collar de extensión, levantar el collar del espécimen. Cuidadosamente transferir el espécimen a una superficie plana, dejarlo de pie para que repose de 12 a 24 horas a temperatura ambiente, no se debe olvidar de señalar los especímenes con sus respectivos porcentajes que se trabajó.

**Figura 3.51:** *Extracción de las briquetas con el extractor*



**Fuente:** *Elaboración propia*

Este procedimiento se realiza para los 18 especímenes con los diferentes porcentajes de asfalto que se delimitó para la obtención del % óptimo.

### **3.6.2 Determinación de las propiedades de la mezcla**

Para la determinación de las propiedades y % óptimo de la mezcla se realizó los siguientes pasos:

- ✓ Se debe medir las alturas con la ayuda del vernier, estas medidas deben ser 4 mediciones por briqueta para así poder determinar la altura promedio de cada briqueta.

**Figura 3.52:** *Medición de las alturas de las briquetas*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Una vez extraídas las briquetas se debe dejar reposando a temperatura ambiente durante 12 horas aproximadamente.
- ✓ Pasado este tiempo se debe llevar las briquetas a baño maría de 25 °C durante unos minutos para así poder pesar al aire las briquetas con superficie seca.

**Figura 3.53** *Briquetas a baño maría a 25 °C y pesaje al aire con superficie seca*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Se debe pesar las briquetas sumergidas en agua
- ✓ Por último se debe dejar las briquetas en baño maría a una temperatura de 60°C durante 30 a 40 min. Para dar lectura de la estabilidad y flujo se debe secar con una toalla superficialmente el exceso de agua de la briqueta para así poder llevar a la mordaza Marshall.

**Figura 3.54:** *Lectura de la estabilidad y fluencia*



**Fuente:** *Elaboración propia*

### 3.6.3 Determinación del porcentaje óptimo mediante el método Marshall

#### 3.6.3.1 Determinación del porcentaje óptimo del agregado de la planta de Érika

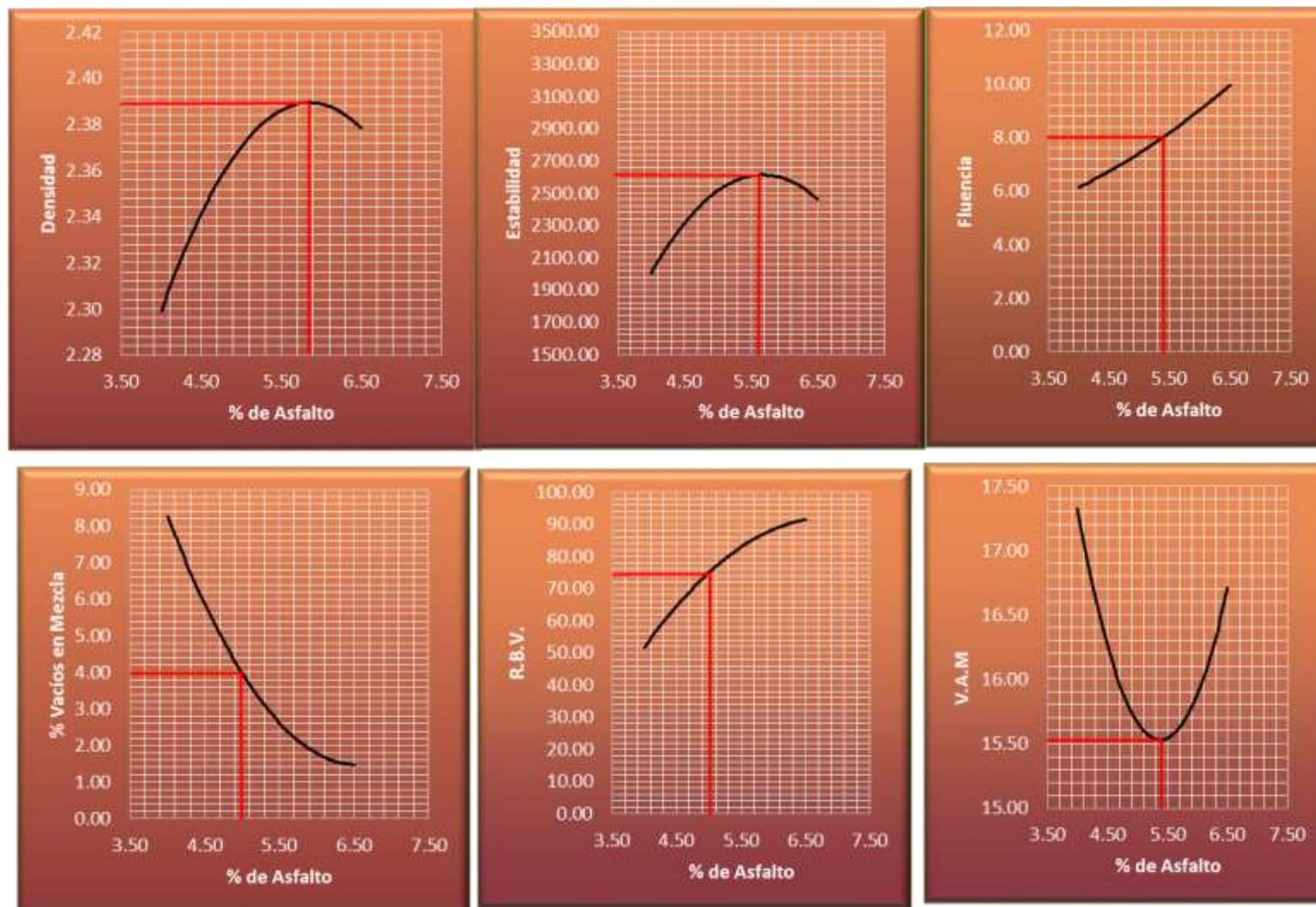
**Tabla 3.34:** Resultados de la obtención del porcentaje óptimo mediante el método Marshall para el agregado de la planta de ERIKA

% DE ASFALTO	DENSIDAD PROMEDIO	ESTABILIDAD MARSHALL (Libras)	FLUJO (mm)	% DE VACIOS MEZCLA TOTAL	R.B.V. (relación betumen vacíos) %	V.A.M. (vacíos agregado mineral)%
4.00	2.30	1993.89	5.97	8.13	52.73	17.21
4.50	2.34	2379.63	7.09	6.10	62.93	16.45
5.00	2.37	2426.34	7.22	4.12	73.87	15.78
5.50	2.40	2548.43	8.33	2.15	85.77	15.15

6.00	2.38	2742.51	8.73	2.03	87.40	16.12
6.50	2.38	2395.68	10.10	1.45	91.30	16.69
DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO				5.30%		

**Fuente:** *Elaboración propia*

Figura 3.55: Graficas del método Marshall del agregado de la planta de ERIKA



Fuente: *Elaboración propia*

### 3.6.3.2 Determinación del porcentaje óptimo del agregado de la planta de san José de Charaja (SEDECA)

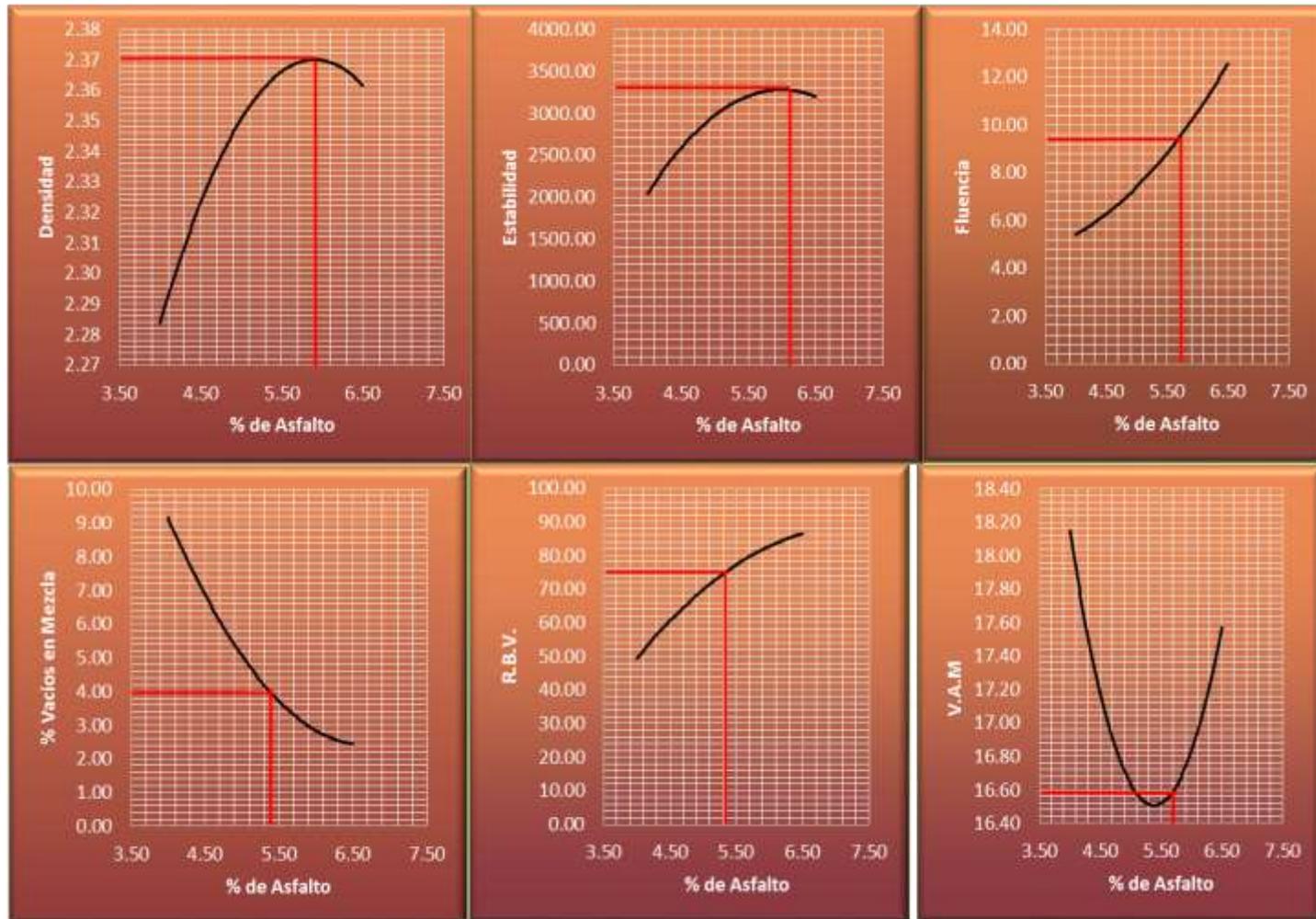
**Tabla 3.35:** Resultados de la obtención del porcentaje óptimo mediante el método Marshall para el agregado de la planta de SAN JOSE DE CHARAJA (SEDECA)

% DE ASFALTO	DENSIDAD PROMEDIO	ESTABILIDAD MARSHALL (Libras)	FLUJO (mm)	% DE VACIOS MEZCLA TOTAL	R.B.V. (relación betumen vacíos) %	V.A.M.(vacíos agregado mineral)%
4.00	2.28	2078.62	5.31	9.26	49.24	18.25
4.50	2.33	2607.30	6.36	6.68	60.70	17.00
5.00	2.35	2847.18	7.55	5.05	69.61	16.63

5.50	2.37	3100.63	8.92	3.71	77.55	16.53
6.00	2.37	3603.15	10.10	3.01	82.28	16.99
6.50	2.36	3048.07	12.80	2.33	86.68	17.47
DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO				5.70%		

**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 3.56:** *Graficas del método Marshall del agregado de la planta de SAN JOSE DE CHARAJA (SEDECA)*



Fuente: *Elaboración propia*

### 3.6.3.3 Determinación del porcentaje óptimo del agregado del río Guadalquivir (Material natural)

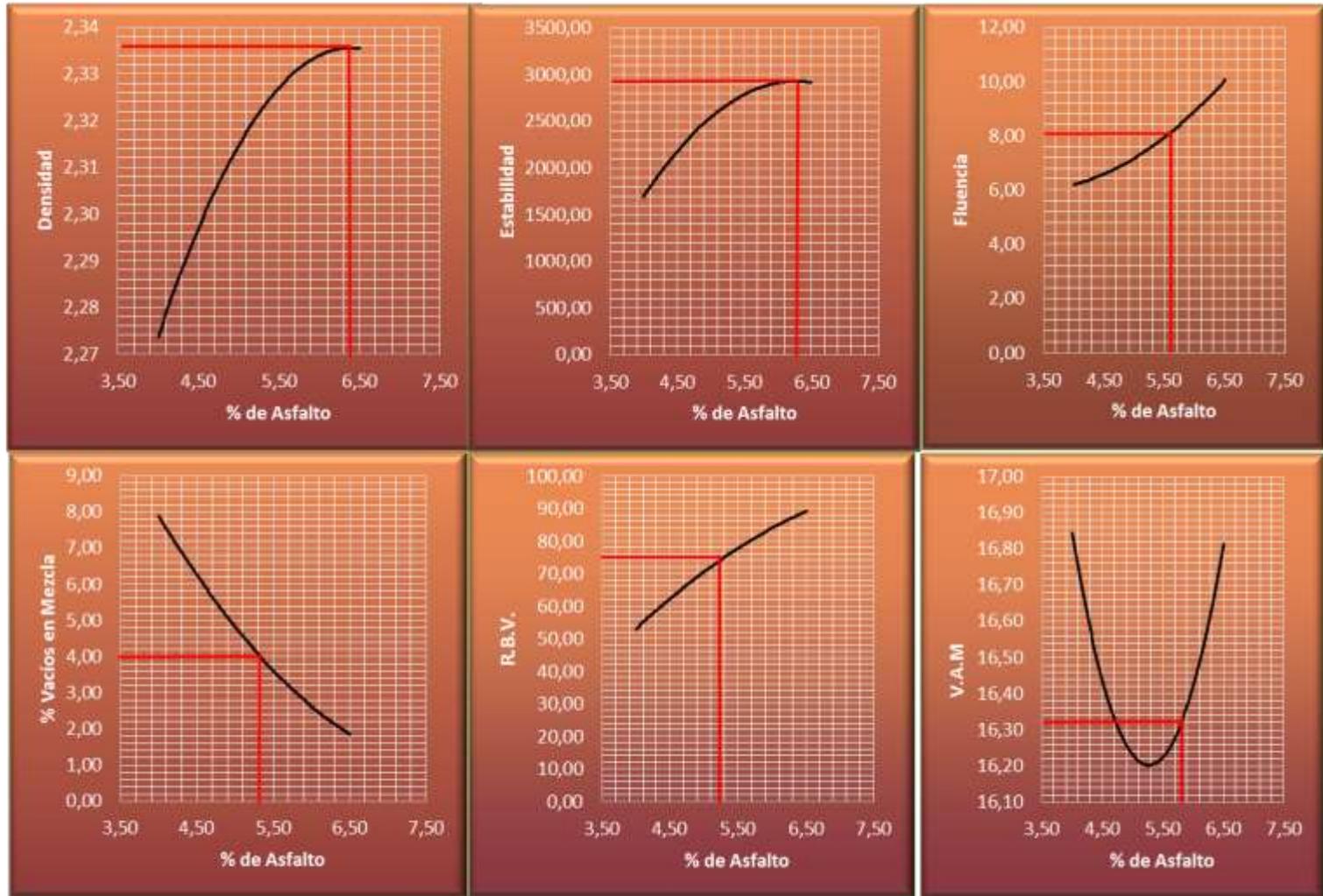
**Tabla 3.36:** Resultados de la obtención del porcentaje óptimo mediante el método Marshall para el agregado del río GUADALQUIVIR (Cantera de San Luis)

% DE ASFALTO	DENSIDAD PROMEDIO	ESTABILIDAD MARSHALL (libras)	FLUJO (mm)	% DE VACIOS MEZCLA TOTAL	R.B.V. (relacion betumen vacios) %	V.A.M.(vacios agregado mineral)%
4,00	2,28	1612,72	6,30	7,75	53,66	16,72
4,50	2,29	2297,52	6,36	6,54	60,82	16,69
5,00	2,32	2594,62	7,22	4,73	70,69	16,15
5,50	2,33	2707,85	8,07	3,56	77,98	16,18
6,00	2,34	2832,57	8,86	2,55	84,38	16,36

6,50	2,33	2980,98	10,04	1,93	88,58	16,87
DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO				5,80%		

Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 3.57:** *Gráficas del método Marshall del agregado del rio GUADALQUIVIR (Cantera de San Luis)*



Fuente: *Elaboración propia*

### 3.6.3.4 Determinación del porcentaje óptimo del agregado del rio tolomosa (Material natural)

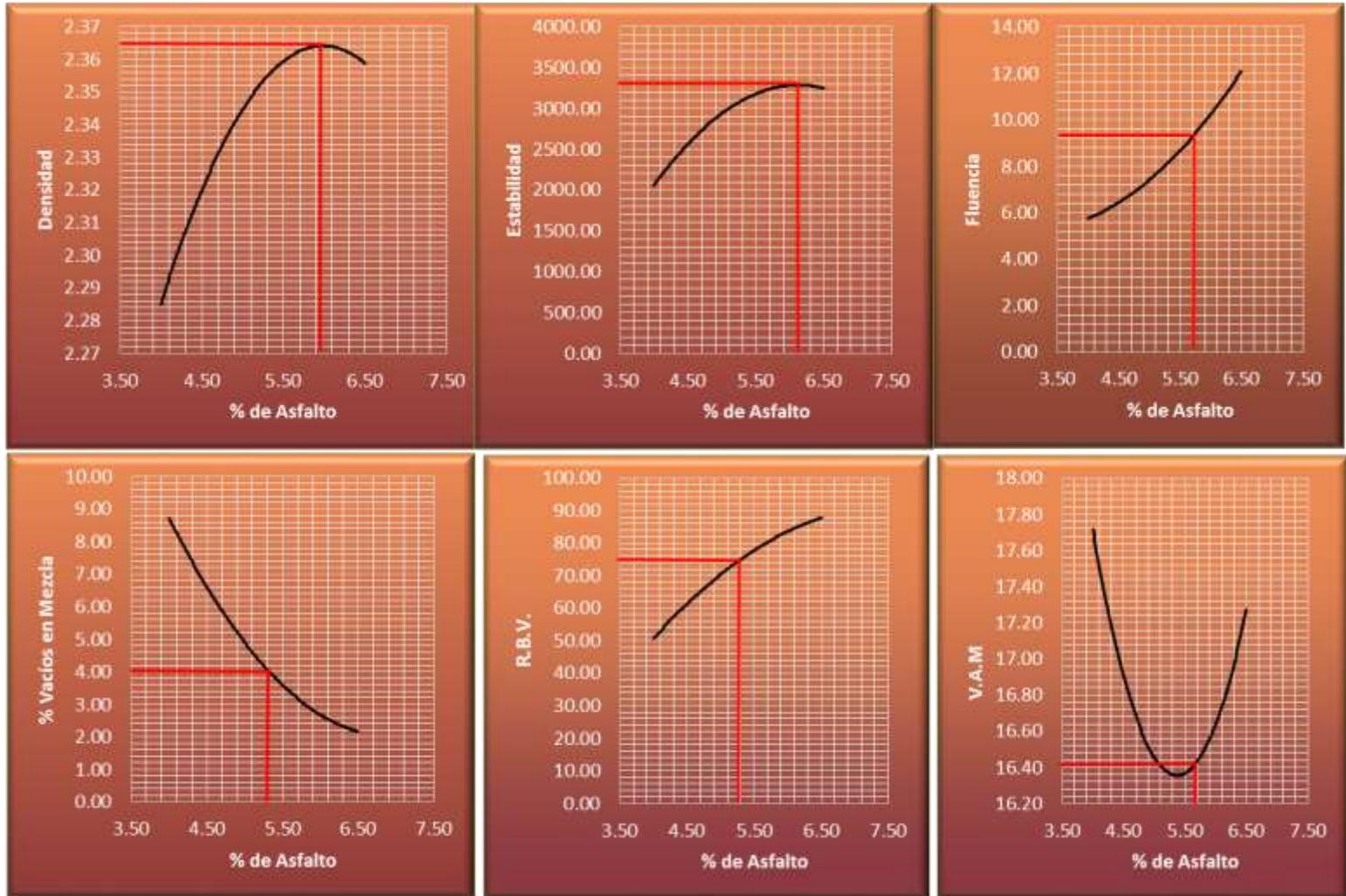
**Tabla 3.37:** Resultados de la obtención del porcentaje optimo mediante el método Marshall para el agregado del rio TOLOMOSA (Material natural)

% DE ASFALTO	DENSIDAD PROMEDIO	ESTABILIDAD MARSHALL (Libras)	FLUJO (mm)	% DE VACIOS MEZCLA TOTAL	R.B.V. (relación betumen vacíos) %	V.A.M.(vacíos agregado mineral)%
4.00	2.28	2112.53	5.71	8.79	50.58	17.79
4.50	2.32	2541.31	6.43	6.52	61.22	16.82
5.00	2.35	2830.46	7.55	4.76	70.83	16.33
5.50	2.35	3100.63	8.92	3.78	77.16	16.54
6.00	2.36	3586.38	9.71	2.69	83.85	16.66
6.50	2.36	3099.83	12.34	2.11	87.75	17.23

DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO	5.70%
------------------------------------	-------

**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 3.58:** *Graficas del método Marshall del agregado del rio TOLOMOSA (Material natural)*



Fuente: *Elaboración propia*

### 3.7 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA LOS DIFERENTES TAMAÑOS MÁXIMOS EN ESTUDIO

Se determinó las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente mediante el método Marshall (Densidad, Estabilidad, Flujo, % de Vacíos, Relación Betún-Vacíos, y Vacíos de Agregado Mineral) y el ensayo de Cántabro (resistencia al pulimiento).y con la ayuda de tablas y graficas se observa el comportamiento de la mezcla según las propiedades de la misma para los tamaños máximos en estudio (1",  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ").

#### ✓ Método Marshall

Las propiedades de la mezcla para cada tamaño máximo se determinaron con el porcentaje óptimo mediante el método Marshall para cada tipo de agregado.

La determinación de la densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos, relación de betún-vacíos, y vacíos de agregado mineral para cada tamaño máximo se llevó a cabo el mismo procedimiento que se describe en el punto 3.5 Mediante fotografías se demostrara el procedimiento Marshall de una forma resumida

**Figura 3.59:** *Combinación de los agregados listos para verter el % óptimo de betún*



Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 3.60:** *Preparación de la mezcla*



Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 3.61:** *Compactación de la mezcla mediante 75 golpes por cara*



Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 3.62:** *Extractor para desmoldar las briquetas*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 3.63:** *Determinación del peso de la briqueta secada a temperatura ambiente*



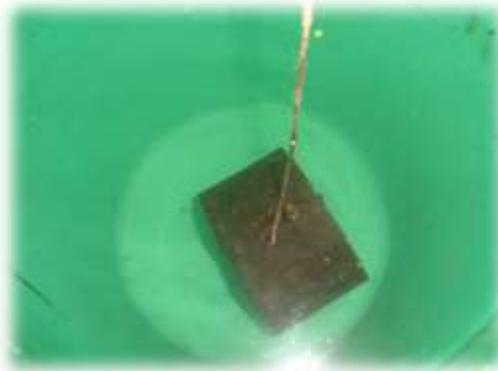
**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 3.64:** *Briquetas en baño maría de 25 grados y pesaje de las briquetas superficialmente seca*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 3.65:** *Determinación del peso sumergido de briquetas*



Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 3.66:** *Medición de la estabilidad y fluencia*



Fuente: *Elaboración propia*

✓ **Ensayo Cántabro**

El ensayo Cántabro de pérdidas por desgaste consiste en someter una briqueta Marshall a un efecto abrasivo mediante el uso del tambor de la máquina de Los Ángeles, sin la carga

abrasiva, que se emplea para el ensayo de desgaste de áridos, haciéndolo girar a 500 revoluciones.

Para el ensayo se utilizaron las mismas briquetas con las que se determinaron la estabilidad y fluencia anteriormente, donde se determinó el peso antes y después de exponerlo a las 500 revoluciones para así poder disponer en porcentaje el peso perdido de la briqueta.

Se puede observar en la figura 3.76 y 3.77 como la briqueta pierde peso al efecto abrasivo.

**Figura 3.67:** *Determinación del peso antes del efecto de abrasión*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 3.68:** *Determinación del peso después del efecto de abrasión*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**3.7.1 Resumen y análisis de los resultados de las propiedades de la mezcla a diferente tamaño máximo**

**3.7.1.1 Propiedades de la mezcla conformada por los agregados de la planta de Érika**

**Tabla 3.38** *Tabla de resultados de la determinación de las propiedades de la mezcla (ERIKA)*

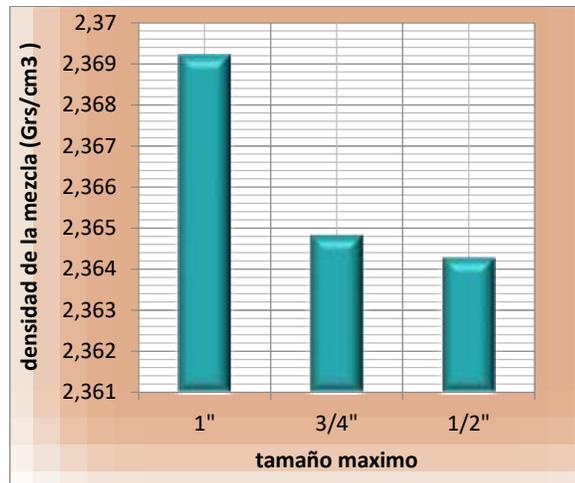
peso específico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)										Peso específico máximo de Mezclas Compact. (AASHTO T-209)															
N° de probeta	probeta según el tamaño máximo	altura de probeta	% de asfalto	peso probeta			vol.	densidad probeta		% de vacíos				estabilidad Marshall				flujo		ensayo de cántabro					
			base mezcla	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla tota	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación bitumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio	peso antes del desgaste	peso después del desgaste	% de desgaste	% de desgaste promedio
			%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/c m3	Grs/c m3	Grs/c m3	%	%	%		libras		libras	libras				grs	grs	%	%
1	1"	6,28	5,3	1186,8	1187,5	688,7	498,8	2,379	2,369	2,489	4,799	17,17	72,05	185,0	2058,6	1,02	2099,8	2069	145,0	0,05709	5,381	1182,1	780,3	34,0	36,8
2	1"	6,37	5,3	1188,5	1189,5	686,3	503,2	2,362						180,0	2008,3	1,00	2008,3		130,0	0,05118		1183,0	760,0	35,8	

3	1"	6,28	5,3	1187,0	1188,6	687,0	501,6	2,366					185,0	2058,6	1,02	2099,8		135,0	0,05315		1181,8	700,3	40,7		
4	3/4"	6,45	5,3	1190	1192	689,2	502,8	2,366					200	2208	0,98	2164		125	0,0492		1188,0	690,8	41,9		
5	3/4"	6,40	5,3	1192	1194	689,5	504	2,365	2,365	2,489	4,975	17,32	71,28	150	1703	0,99	1686	1939	180	0,0709	5,709	1193,3	700	41,3	42,1
6	3/4"	6,44	5,3	1188	1191	688,5	502,7	2,363					180	2008	0,98	1968		130	0,0512		1189,1	675,9	43,2		
7	1/2"	6,42	5,3	1191	1193	687,5	505	2,358					195	2159	0,99	2137		150	0,0591		1189,1	603,9	60,3		
8	1/2"	6,51	5,3	1187	1188	687	501,1	2,368	2,364	2,489	4,997	17,34	71,18	150	1703	0,96	1634	1900	155	0,061	6,102	1186,0	650,0	45,2	53,6
9	1/2"	6,50	5,3	1189	1191	688,6	502,5	2,366					180	2008	0,96	1928		160	0,063		1186,8	600,0	55,3		

Fuente: *elaboración propia*

En la tabla 3.38 se determinan los valores promedios de Densidad, Estabilidad, Flujo, % de Vacíos, Relación Betún – Vacíos, Vacíos de Agregado Mineral, y % de desgaste de la mezcla, con los cuales se realizó gráficos donde se demuestra el comportamiento de las propiedades que presenta la mezcla con diferentes tamaño máximo.

**Figura 3.69:** Densidad vs tamaño máximo (ERIKA)



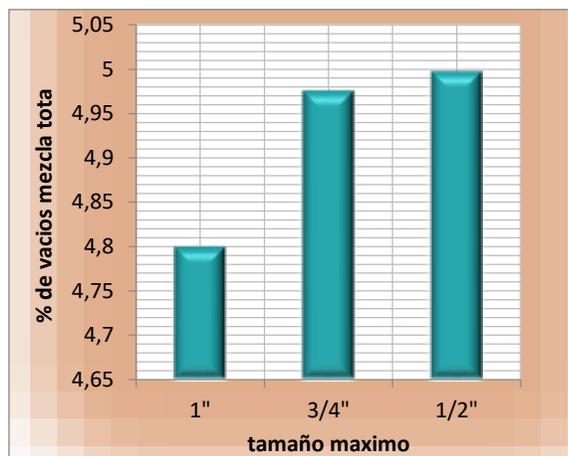
**Fuente:** Elaboración propia

En el gráfico se observa que la densidad es directamente proporcional al tamaño máximo es decir a mayor tamaño máximo mayor será la Densidad, la menor densidad se presenta en el tamaño máximo de 1/2" con un valor de 2.364 (gr/cm3) y la mayor densidad es en el tamaño máximo de 1" con un valor de 2.369 (gr/cm3).

La diferencia de la densidad del tamaño máximo de 1" y el de 3/4" es de 0.004 gr/cm3, la diferencia de densidad entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" es de 0.001 gr/cm3, y la diferencia entre el valor mayor (1") y el menor (1/2") es de 0.005 gr/cm3.

Se puede observar que el comportamiento de los valores va de mayor a menor, se observa también que la diferencia de las densidades de un tamaño máximo y otro no son tan considerables ya que es mínima la diferencia de los valores de densidad.

**Figura 3.70:** % de vacíos vs tamaño máximo (ERIKA)



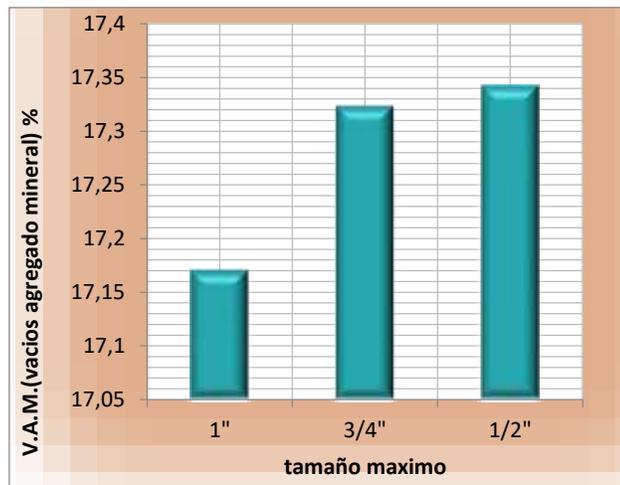
Fuente: *Elaboración propia*

El gráfico presenta los valores en forma lineal al igual que el gráfico de densidad vs tamaño máximo, los valores de los % de vacíos decrecen desde el tamaño máximo de 1/2" hasta llegar al menor porcentaje en el tamaño máximo de 1", en el tamaño máximo de 1" presenta un porcentaje de 4,799 %, el tamaño máximo de 3/4" presenta un porcentaje de 4,975 % y el tamaño máximo de 1/2" presenta un porcentaje de 4,997%. Esto nos representa que a mayor tamaño máximo menor será el % de vacíos.

La diferencia en porcentaje entre un tamaño y otro es de la siguiente manera: Entre el tamaño máximo de 1" y el de 3/4" presentan una diferencia de 0,176 %, la diferencia en porcentaje del tamaño máximo de 3/4" y el de 1/2" es de 0,022 % y entre el tamaño máximo de 1" y 1/2" presenta una diferencia de porcentaje de 0,198 %, con esto se demuestra que la diferencia del % vacíos entre un tamaño máximo y otro no es muy significativa.

El porcentaje de vacíos menor se presenta en el tamaño máximo de 1" debido a que la granulometría para este tamaño máximo es continua, ya que este factor influye en los vacíos, por consiguiente en el tamaño máximo de 1/2" es mayor el porcentaje de vacíos ya que presenta una granulometría uniforme.

**Figura 3.71:** V.A.M. (vacíos del agregado mineral) vs tamaño máximo (ERIKA)



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico se puede observar que el comportamiento del % de vacíos del agregado mineral vs al tamaño máximo tiende a tener una similitud al comportamiento del % de vacíos vs al tamaño máximo.

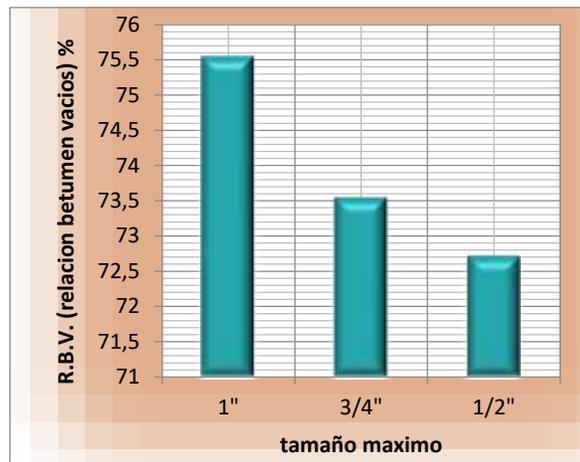
El % de vacíos del agregado mineral aumentan en función que el tamaño máximo disminuye o viceversa.

El tamaño máximo de 1" presenta un porcentaje de 17,17 %, el 3/4" presenta un porcentaje de 17.32 % y el tamaño máximo de 1/2" presenta un porcentaje de 17.34%.

La diferencia de un porcentaje y otro se presenta de la siguiente manera: entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" presenta un porcentaje de 0,15 %, entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" presenta una diferencia de porcentaje de 0,02 % y la diferencia entre el tamaño máximo de 1" y de 1/2" es de 0,17 %.

El comportamiento de los V.A.M. depende del % de vacíos y de la densidad de la mezcla es por este motivo que los vacíos del agregado mineral tiene el mismo comportamiento de los vacíos.

**Figura 3.72:** *R.B.V (Relación betumen-vacíos) vs tamaño máximo (ERIKA)*



**Fuente:** *Elaboración propia*

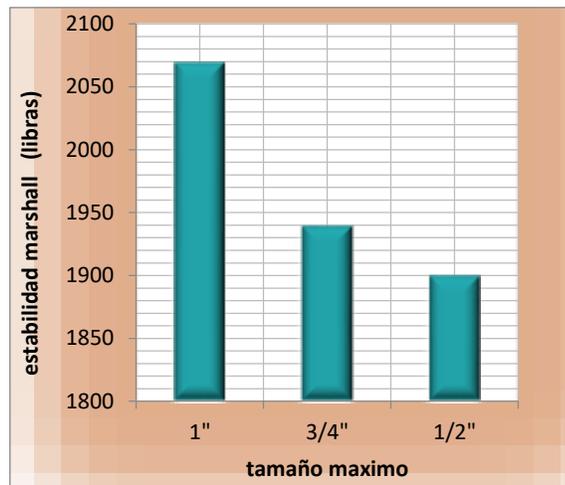
En el gráfico 3.72 se observa que el % de la relación betumen-vacíos vs tamaño máximo presenta una regresión lineal, ya que a mayor tamaño máximo presenta un mayor porcentaje de la relación betumen-vacíos.

El porcentaje mayor se observa en el tamaño máximo de 1" con un porcentaje de 72,05 %, el porcentaje menor se observa en el tamaño máximo de 1/2" con 71,18%.

La diferencia de porcentajes entre un tamaño máximo y otro se presenta de la siguiente manera: Entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" la diferencia en porcentaje es del 0,77%, entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" la diferencia es de 0,1 % y la diferencia de porcentaje entre el mayor porcentaje que se presenta en el tamaño máximo de 1" y el menor porcentaje que se presenta en el tamaño máximo de 1/2" es de 0,87%.

La relación betumen-vacíos está ligada al comportamiento del % de vacíos y al % de los vacíos del agregado mineral (V.A.M.), por este motivo el comportamiento de la relación betumen-vacíos frente a la variación del tamaño máximo, que va decreciendo de mayor a menor.

**Figura 3.73:** *Estabilidad vs tamaño máximo (ERIKA)*



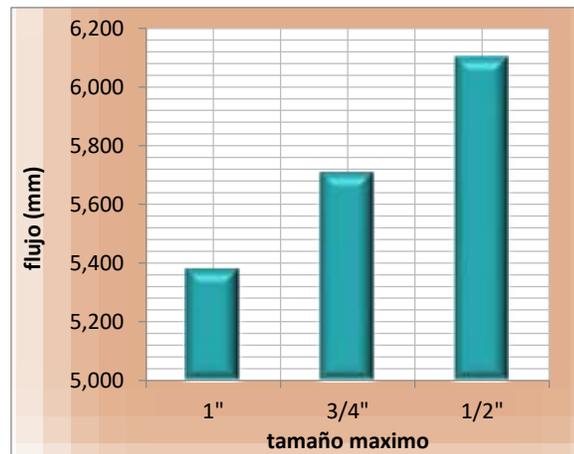
**Fuente:** *Elaboración propia*

El gráfico demuestra que el comportamiento de la estabilidad vs tamaño máximo es similar al comportamiento de la densidad vs tamaño máximo, por lo que se entiende que a mayor tamaño máximo mayor es el valor de la estabilidad.

La estabilidad mayor se presenta el tamaño máximo de 1" debido a que este tamaño brinda un mejor comportamiento de la mezcla al efecto de la carga. El valor máximo de la estabilidad es de 2069 libras en el tamaño máximo de 1" y el valor menor de 1900 libras en el tamaño máximo de 1/2".

La diferencia del valor de la estabilidad entre un tamaño máximo y otro es el siguiente: Entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" es de 130 libras, la diferencia de entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" es de 39 libras y la diferencia entre el tamaño máximo mayor y el tamaño máximo menor la diferencia del valor de la estabilidad es de 169 libras.

**Figura 3.74:** *Flujo vs tamaño máximo (ERIKA)*

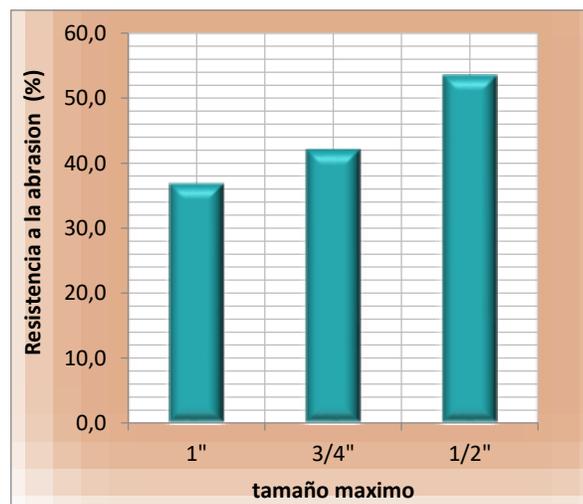


Fuente: *Elaboración propia*

El flujo tiene un comportamiento contrario al de la estabilidad a mayor estabilidad menor fluencia, como se puede observar en el gráfico a mayor tamaño máximo menor es el valor de la fluencia y viceversa. El flujo mayor se presenta en el tamaño máximo de 1/2" con 6.100 (mm) y el valor menor se presenta en el tamaño máximo de 1" con 5,381 (mm).

Y la diferencia de la fluencia entre los tamaño máximos extremos es de 0.721 mm.

**Figura 3.75:** *Resistencia a la abrasión vs tamaño máximo (ERIKA)*



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico se puede observar que el comportamiento de la resistencia a la abrasión es menor mientras que el tamaño máximo es mayor y viceversa.

El valor máximo de desgaste es 53,6 % en el tamaño máximo de 1/2" y el porcentaje menor 36,8% en el tamaño máximo de 1".

La diferencia en porcentaje de la resistencia a la abrasión entre el tamaño máximo de 1" y tamaño máximo de 3/4" es de 5.3 % demostrando que el de 1" tiene un menor % de desgaste, según la figura 3.76

La diferencia en porcentaje de la resistencia a la abrasión entre el tamaño máximo de 3/4" y tamaño máximo de 1/2" es de 11.5 % , demostrando que el tamaño máximo de 3/4 posee un mejor comportamiento al desgaste que el tamaño máximo de 1/2"

### 3.7.1.2 Propiedades de la mezcla conformada por los agregados de la planta de SEDECA

Tabla 3.39 Tabla de resultados de la determinación de las propiedades de la mezcla (SEDECA)

N° de probeta	probeta según el tamaño máximo	altura de probeta	% de	peso probeta			vol.	densidad probeta		% de vacíos			estabilidad Marshall				flujo			ensayo de cántabro					
			base mezcla	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla tota	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio	peso antes del desgaste	peso después del desgaste	% de desgaste	% de desgaste promedio
			%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/c m3	Grs/c m3	Grs/c m3	%	%	%		libras		libras	libras				grs	grs	%	%
1	1"	6,32	5,7	1191,6	1196,1	687,5	508,60	2,343					195,0	2158,7	1,01	2180,3		175,0	0,0689		1190,2	956,3	19,7		
2	1"	6,33	5,7	1190,2	1194,5	687,3	507,20	2,347					180,0	2008,3	1,01	2028,4		135,0	0,0531		1188,0	900,0	24,2		
3	1"	6,33	5,7	1192,0	1195,0	687,5	507,50	2,349					190,0	2108,7	1,01	2129,8		145,0	0,0571		1189,5	910,5	23,5		
4	1"	6,22	5,7	1190,0	1192,0	684,7	507,30	2,346	2,346	2,418	3,00	16,138	81,634	185,0	2058,6	1,04	2141,0	2204	150,0	0,0591	5,919	1184,5	905,3	23,6	22,4
5	1"	6,23	5,7	1190,3	1192,3	684,9	507,40	2,346					210,0	2307,6	1,04	2399,9		155,0	0,0610		1188,1	890,6	25,0		
6	1"	6,32	5,7	1191,3	1192,3	684,5	507,80	2,346					190,0	2108,7	1,01	2129,8		145,0	0,0571		1185,7	870,5	26,6		

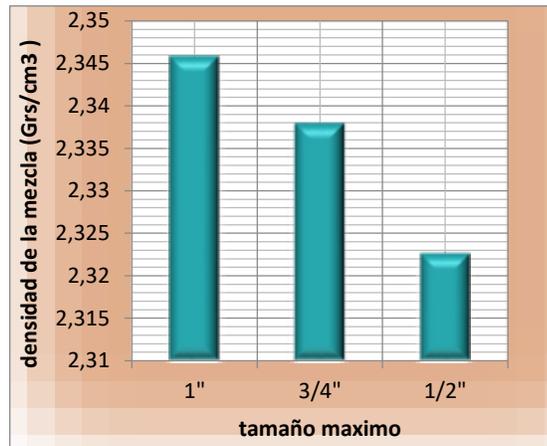
7	1"	6,32	5,7	1190,5	1192,6	685,3	507,30	2,347					210,0	2307,6	1,01	2330,7		160,0	0,0630		1183,2	888,3	24,9		
8	1"	6,25	5,7	1191,2	1194,2	686,3	507,90	2,345					200,0	2208,5	1,03	2274,7		155,0	0,0610		1186,2	879,6	25,8		
9	1"	6,21	5,7	1190,0	1193,0	685,6	507,40	2,345					180,5	2013,4	1,04	2093,9		165,0	0,0650		1184,2	827,3	30,1		
10	1"	6,23	5,7	1191,0	1192,4	684,9	507,50	2,347					210,0	2307,6	1,01	2330,7		145,0	0,0571		1185,2	850,9	28,2		
11	1"	6,22	5,7	1187,5	1191,0	684,5	506,50	2,345					200,0	2208,5	1,04	2296,8		150,0	0,0591		1184,2	878,3	25,8		
12	1"	6,32	5,7	1192,8	1196,9	687,2	509,70	2,340					190,0	2108,7	1,01	2129,8		145,0	0,0571		1188,6	870,3	26,8		
13	1"	6,24	5,7	1187,8	1190,0	683,9	506,10	2,347					185,0	2058,6	1,04	2130,7		145,0	0,0571		1182,9	885,3	25,2		
14	1"	6,30	5,7	1190,3	1192,0	685,0	506,98	2,348					215,0	2357,0	1,01	2380,5		145,0	0,0571		1190,0	880,9	26,0		
15	1"	6,23	5,7	1192,0	1192,8	685,2	507,60	2,348					180,0	2008,3	1,04	2088,7		140,0	0,0551		1187,9	886,4	25,4		
16	3/4"	6,20	5,7	1185	1186	685,2	500,8	2,366					185	2059	1,04	2141		165	0,065		1183,2	898	24,1		
17	3/4"	6,24	5,7	1186	1190	687,2	502,8	2,359					175	1958	1,04	2026		170	0,0669		1183,1	881,4	25,5		
18	3/4"	6,23	5,7	1186	1190	682,5	507,4	2,338	2,338	2,418	3,29	16,42	79,95	175	1958	1,04	2036	2129	175	0,0689	6,579	1182,0	880,1	25,5	26,1
19	3/4"	6,18	5,7	1185	1190	682,9	506,7	2,339					190	2109	1,05	2214		170	0,0669		1183,2	870,5	26,4		
20	3/4"	6,20	5,7	1184	1188	682,3	506,1	2,338					195	2159	1,04	2245		160	0,063		1180,6	875,2	25,9		

21	3/4"	6,28	5,7	1187	1190	679,8	510,4	2,325					185	2059	1,02	2100		155,5	0,061 2	1185, 1	865,4	27,0		
22	3/4"	6,19	5,7	1186	1190	681,5	508,5	2,333					180	2008	1,05	2109		165	0,065	1180, 6	870,3	26,3		
23	3/4"	6,22	5,7	1184	1189	682,2	506,6	2,337					175	1958	1,04	2036		160	0,063	1182, 1	850,4	28,1		
24	3/4"	6,23	5,7	1187, 0	1190	681,5	508,1	2,336					190	2109	1,04	2193		155	0,061	1184, 3	860,9	27,3		
25	3/4"	6,19	5,7	1182	1186	680,1	506,2	2,334					180,5	2013	1,05	2104		160,5	0,063 2	1179, 8	860,9	27,0		
26	3/4"	6,22	5,7	1184	1189	681,2	508	2,331					175	1958	1,04	2036		170	0,066 9	1182, 4	888	24,9		
27	3/4"	6,20	5,7	1183	1187	681,2	505,9	2,337					190	2109	1,04	2193		175	0,068 9	1178, 9	870,5	26,2		
28	3/4"	6,18	5,7	1183	1188	680	507,8	2,330					195	2159	1,05	2267		180	0,070 9	1180, 0	882,3	25,2		
29	3/4"	6,20	5,7	1185	1189	681,2	508	2,332					180	2008	1,04	2089		170,5	0,067 1	1180, 6	880,7	25,4		
30	3/4"	6,20	5,7	1185	1190	682,1	507,9	2,334					185	2059	1,04	2141		175	0,068 9	1178, 4	870,4	26,1		
31	1/2"	6,22	5,7	1187	1193	682,1	511,1	2,321					165	1856	1,04	1931		220	0,086 6	1189, 2	816,0	31,4		
32	1/2"	6,33	5,7	1186	1192	682,5	509,8	2,326	2,323	2,418	3,92	16,97	76,87	170	1907	1,01	1926		310	0,122	1192, 3	815,0	31,6	30,9
33	1/2"	6,23	5,7	1186	1193	678,5	514	2,307					185	2059	1,04	2141		200	0,078 7	1187, 9	814,5	31,4		
34	1/2"	6,18	5,7	1180	1185	676,7	507,8	2,324					165	1856	1,05	1949		190	0,074 8	1178, 6	815,0	30,9		

35	1/2"	6,19	5,7	1181	1186	678,5	507,1	2,328					160	1805	1,05	1887		210	0,0827	1178,2	800,0	32,1
36	1/2"	6,22	5,7	1188	1191	680,9	509,9	2,329					170	1907	1,04	1983		215	0,0846	1180,2	825,6	30,0
37	1/2"	6,23	5,7	1188	1194	678,9	514,6	2,309					165	1856	1,04	1931		200	0,0787	1182,6	840,3	28,9
38	1/2"	6,19	5,7	1180	1184	675,2	509	2,318					170	1907	1,05	1993		195	0,0768	1178,0	815,3	30,8
39	1/2"	6,20	5,7	1181	1184	672,3	511,6	2,308					170	1907	1,04	1983		200	0,0787	1175,9	810,9	31,0
40	1/2"	6,24	5,7	1185	1189	679,8	509	2,329					175	1958	1,04	2026		200	0,0787	1180,3	820,8	30,5
41	1/2"	6,23	5,7	1180	1184	678,5	505,2	2,336					170,5	1912	1,04	1989		190	0,0748	1178,2	818,2	30,6
42	1/2"	6,25	5,7	1180	1190	680,2	509,7	2,315					165	1856	1,03	1912		195	0,0768	1175,9	815,9	30,6
43	1/2"	6,19	5,7	1179	1183	671,3	511,2	2,305					160	1805	1,06	1905		190	0,0748	1170,2	802,6	31,4
44	1/2"	6,22	5,7	1180	1183	679,9	503,5	2,344					155	1754	1,04	1824		200	0,0787	1179,8	811,0	31,3
45	1/2"	6,23	5,70	1183	1186	680,2	505,6	2,339					160	1805	1,04	1877		195	0,0768	1180,2	822,6	30,3

Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 3.76:** Densidad vs tamaño máximo (SEDECA)



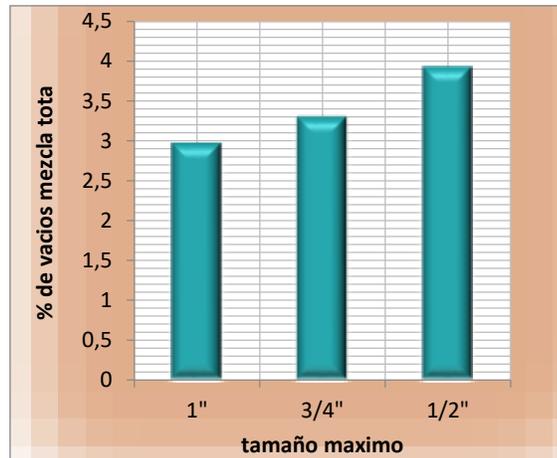
**Fuente:** *Elaboración propia*

Según el gráfico 3.76 se observa una regresión lineal de los valores esto quiere decir que a mayor tamaño máximo mayor densidad de la mezcla. Entre los 3 tamaños máximos en estudio se determinó que en el tamaño máximo de 1" se presenta la mayor densidad que va decreciendo hasta llegar a una menor densidad en el tamaño máximo de 1/2". El valor más alto es de 2,346 (gr/cm<sup>3</sup>) en el tamaño máximo de 1" y el valor mínimo 2,323 (gr/cm<sup>3</sup>) que se presenta en el tamaño máximo 1/2".

Se puede observar que el comportamiento de los valores va de mayor a menor, se observa también que la diferencia de las densidades de un tamaño máximo y otro no son tan considerables ya que es mínima la diferencia.

La diferencia de la densidad del tamaño máximo de 1" y el de 3/4" es de 0,008 gr/cm<sup>3</sup>, la diferencia de densidad entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" es de 0,015 gr/cm<sup>3</sup>, y la diferencia entre el valor mayor (1") y el menor (1/2") es de 0,023 gr/cm<sup>3</sup>.

**Figura 3.77:** % de vacíos vs tamaño máximo (SEDECA)



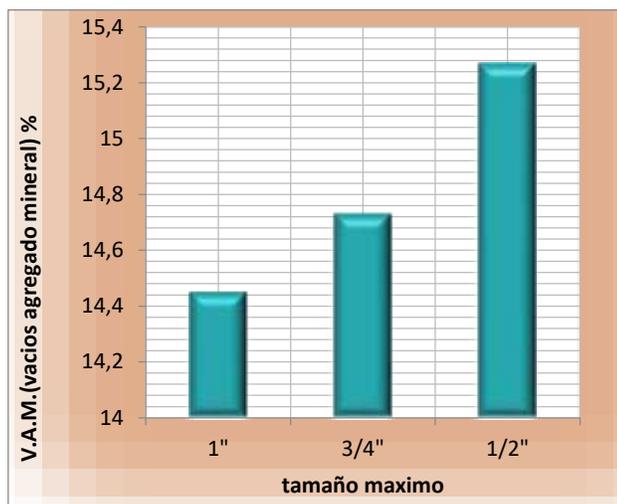
**Fuente:** *Elaboración propia*

En el gráfico se observa que el comportamiento del porcentaje de vacíos de la mezcla va disminuyendo en función al aumento de tamaño máximo del agregado. Esto quiere decir que a mayor tamaño máximo menor % de vacíos en la mezcla.

En el tamaño máximo de 1" presenta un porcentaje de 3,00 %, en el tamaño máximo de ¾" presenta un porcentaje de 3,29 % y el tamaño máximo de ½" presenta un porcentaje de 3,92 %. La diferencia en porcentaje entre un tamaño y otro es de la siguiente manera: Entre el tamaño máximo de 1" y el de ¾" presentan una diferencia de 0,29%, la diferencia en porcentaje del tamaño máximo de ¾" y el de ½" es de 0.62% y entre el tamaño máximo de 1" y ½" presenta una diferencia de porcentaje de 0.948%, con esto se demuestra que la diferencia del % vacíos entre un tamaño máximo y otro no es muy significativa.

El porcentaje de vacíos menor se presenta en el tamaño máximo de 1" debido a que la granulometría para este tamaño máximo es continua, ya que este factor influye en los vacíos, por consiguiente en el tamaño máximo de ½" es mayor el porcentaje de vacíos ya que presenta una granulometría uniforme.

**Figura 3.78:** V.A.M. (vacíos del agregado mineral) vs tamaño máximo (SEDECA)



**Fuente:** elaboración propia

En el gráfico se puede observar que el comportamiento del % de vacíos del agregado mineral vs al tamaño máximo va de un valor menor del % V.A.M a un valor mayor.

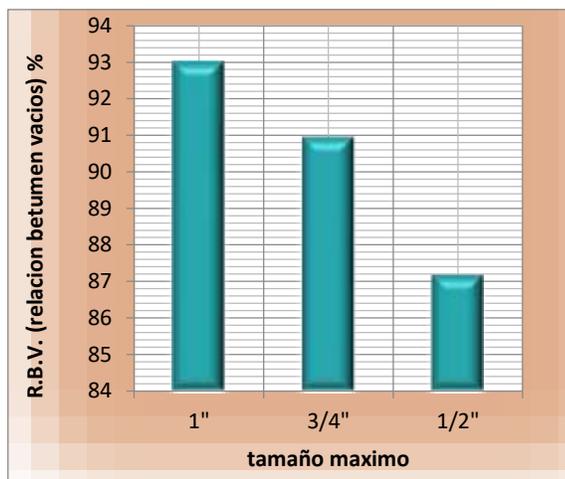
El % de vacíos del agregado mineral aumentan en función que el tamaño máximo disminuye o viceversa.

El tamaño máximo de 1" presenta un porcentaje de 14,4 %, el 3/4" presenta un porcentaje de 14,7 % y el tamaño máximo de 1/2" presenta un porcentaje de 15,0%.

La diferencia de un porcentaje y otro se presenta de la siguiente manera: entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" presenta un porcentaje de 0,28 %, entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" presenta una diferencia de porcentaje de 0,30% y la diferencia entre el tamaño máximo de 1" y de 1/2" es de 0,60%.

El comportamiento de los V.A.M. depende del % de vacíos y de la densidad de la mezcla es por este motivo que los vacíos del agregado mineral tiene el mismo comportamiento de los vacíos.

**Figura 3.79:** R.B.V (Relación betumen-vacíos) vs tamaño máximo (SEDECA)



Fuente: *elaboración propia*

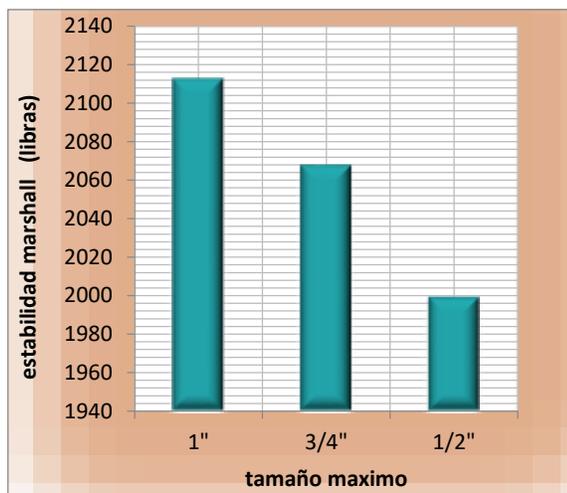
En el gráfico se observa que el % de R.B.V (relación betumen-vacíos) es mayor en el tamaño máximo de 1" y el menor porcentaje se presenta en el tamaño máximo de 1/2". Lo que resulta es que a mayor tamaño máximo del agregado grueso será mayor el % de R.B.V. Y viceversa.

El porcentaje mayor se contempla en el tamaño máximo de 1" con un porcentaje de 81.634 % de R.B.V., el porcentaje menor se observa en el tamaño máximo de 1/2" con 76.87%.

La diferencia de porcentajes entre un tamaño máximo y otro se presenta de la siguiente manera: Entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" la diferencia en porcentaje es del 1,684%, entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" la diferencia es de 3,08% y la diferencia de porcentaje entre el mayor porcentaje que se presenta en el tamaño máximo de 1" y el menor porcentaje que se presenta en el tamaño máximo de 1/2" es de 4,764%.

La relación betumen-vacíos está ligada al comportamiento del % de vacíos y al % de los vacíos del agregado mineral (V.A.M.), por este motivo el comportamiento de la relación betumen-vacíos frente a la variación del tamaño máximo, que va decreciendo de mayor a menor

**Figura 3.80:** *Estabilidad vs tamaño máximo (SEDECA)*



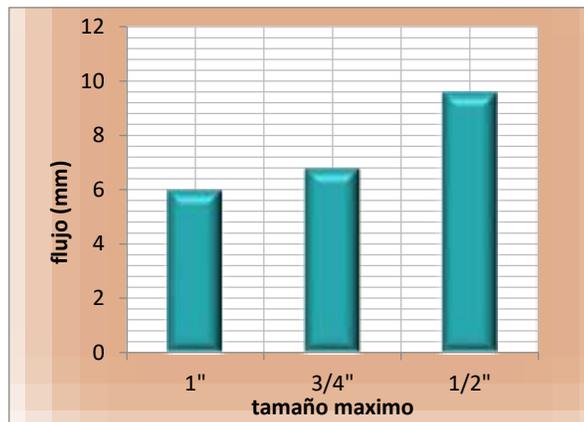
Fuente: *elaboración propia*

El comportamiento de la estabilidad es directamente proporcional al tamaño máximo esto quiere decir que a mayor tamaño máximo del agregado mayor será el valor de la estabilidad.

La estabilidad mayor se presenta en el tamaño máximo de 1" debido a que este tamaño brinda un mejor comportamiento de la mezcla al efecto de la carga. El valor máximo de la estabilidad es de 2204 libras en el tamaño máximo de 1" y el valor menor de 1950 libras en el tamaño máximo de 1/2".2129

La diferencia del valor de la estabilidad entre un tamaño máximo y otro es el siguiente: Entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" es de 75 libras, la diferencia de entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" es de 179 libras y la diferencia entre el tamaño máximo mayor y el tamaño máximo menor la diferencia del valor de la estabilidad es de 254 libras.

**Figura 3.81:** *Flujo vs tamaño máximo (SEDECA)*

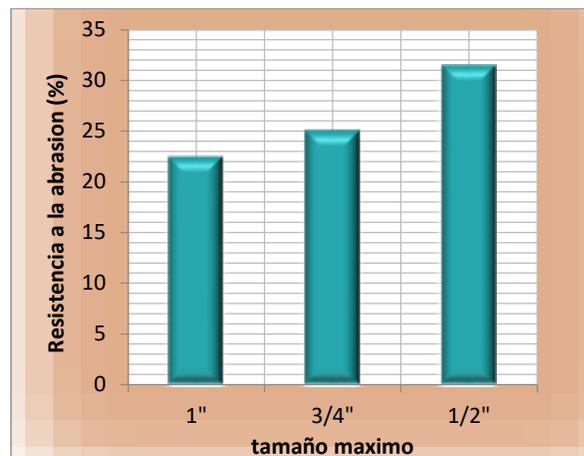


Fuente: *Elaboración propia*

El flujo tiene un comportamiento contrario al de la estabilidad a mayor estabilidad menor fluencia, como se puede observar en el gráfico a mayor tamaño máximo menor es el valor de la fluencia y viceversa.

El flujo mayor se presenta en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " con 8,163 (mm) y el valor menor se presenta en el tamaño máximo de 1" con 5,919 (mm). Y la diferencia de la fluencia entre los tamaño máximos extremos es de 2,244 mm.

**Figura 3.82:** *Resistencia a la abrasión vs tamaño máximo (SEDECA)*



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico se observa que el desgaste es menor a un tamaño máximo mayor. El porcentaje mayor de desgaste se presenta en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " con un porcentaje de 30.9% y el porcentaje menor de desgaste se exhibe en el tamaño máximo de 1" con el 22.4%.

La diferencia en porcentaje del desgaste entre el tamaño máximo de 1" y tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " es de 4,8% lo que indica que no existe una diferencia considerable entre estos dos tamaños máximos, la diferencia de desgaste entre el tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ " es del 3,7 % y la diferencia entre los tamaños máximos de 1" y  $\frac{1}{2}$ " es de 8,5 %. Con esto se confirma que si el tamaño máximo del agregado es mayor tendrá mayor resistencia al efecto de la abrasión ya que la resistencia del agregado pétreo influye en el desgaste de la mezcla.

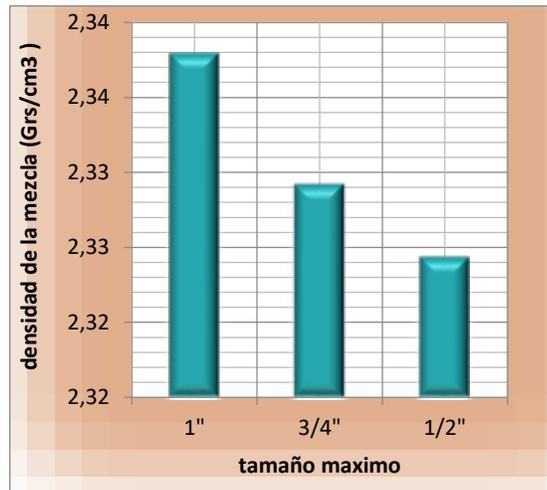
3.7.1.3 Propiedades de la mezcla conformada por los agregados del rio Guadalquivir

Tabla 3.40 Tabla de resultados de la determinación de las propiedades de la mezcla (GUADALQUIVIR)

peso específico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)										peso específico máximo de Mezclas Compact. (AASHTO T-209)							estabilidad Marshall				flujo			ensayo de cántabro			
N° de probeta	probeta según el tamaño máximo	altura de probeta	% de asfalto	peso probeta			vol.	densidad probeta		% de vacíos			lectura del dial	carga	factor de corrección	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio	peso antes del desgaste	peso después del desgaste	% de desgaste	% de desgaste promedio			
			base mezcla	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla tota	V.A.M. (vacíos agregado mineral)													R.B.V. (relación betumen vacíos)		
			%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%													%	libras	libras
1	1"	6,36	5,8	1193,6	1194,0	683,5	510,5	2,338				190,0	2108,7	1,00	2108,7		145,0	0,05709		1192,1	1111,1	6,8					
2	1"	6,33	5,8	1191,0	1192,3	682,9	509,4	2,338	2,338	2,431	3,841	17,2	77,67	175,0	1957,8	1,01	1977,4	2038	155,0	0,06102	5,906	1190,0	1074,8	9,7	7,8		
3	1"	6,33	5,8	1191,5	1193,2	683,5	509,7	2,338						180,0	2008,3	1,01	2028,4		150,0	0,05906		1192,0	1110,2	6,9			
4	3/4"	6,40	5,8	1189	1194	684,3	509,2	2,335	2,329	2,431	4,200	17,51	76,01	175	1958	0,99	1938	1965	160	0,063	6,102	1190,8	960,5	19,3			
5	3/4"	6,35	5,8	1164	1169	669,3	499,2	2,332						175	1958	1,00	1958		155	0,061		1165,0	935	19,7	18,8		

6	3/4"	6,39	5,8	1188	1193	680,9	511,7	2,321					180	2008	1,00	1998		150	0,0591		1190,0	985	17,2		
7	1/2"	6,37	5,8	1192	1197	682,9	513,9	2,32					175	1958	1,00	1958		165	0,065		1192,2	850,0	28,7		
8	1/2"	6,45	5,8	1193	1196	683,5	512,8	2,326	2,324	2,431	4,399	17,68	75,12	170	1907	0,98	1869	1877	160	0,063	6,234	1194,0	832,1	30,3	29,7
9	1/2"	6,37	5,8	1193	1196	683,6	512,6	2,327					160	1805	1,00	1805		150	0,0591		1193,0	833,1	30,2		

Fuente: *elaboración propia*

**Figura 3.83:** *Densidad vs tamaño máximo (GUADALQUIVIR)*

**Fuente:** *Elaboración propia*

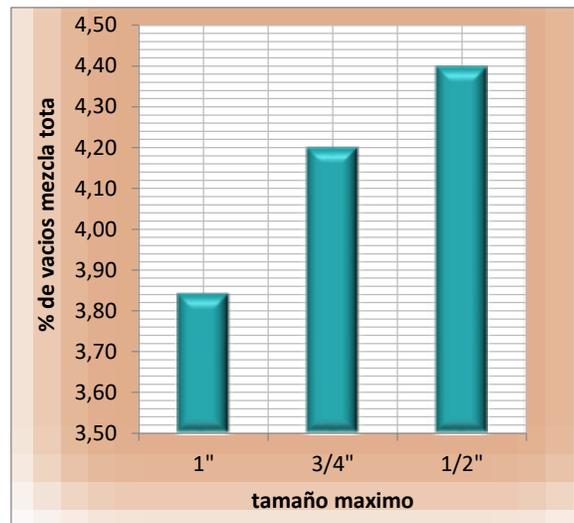
En el gráfico 3.83 se observa que la densidad es directamente proporcional al tamaño máximo es decir a mayor tamaño máximo mayor será la Densidad, la menor densidad se presenta en del tamaño máximo de 1/2" y la mayor densidad es en el tamaño máximo de 1", se puede observar también que la densidad presenta una regresión lineal de los valores de densidad.

Entre los 3 tamaños máximos en estudio se determinó que en el tamaño máximo de 1" se presenta la mayor densidad que va decreciendo hasta llegar a una menor densidad en el tamaño máximo de 1/2". El valor más alto es de 2.338 (gr/cm<sup>3</sup>) en el tamaño máximo de 1" y el valor mínimo 2.324 (gr/cm<sup>3</sup>) que se presenta en el tamaño máximo 1/2".

La diferencia de la densidad del tamaño máximo de 1" y el de 3/4" es de 0,009 gr/cm<sup>3</sup>, la diferencia de densidad entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" es de 0,005 gr/cm<sup>3</sup>, y la diferencia entre el valor mayor (1") y el menor (1/2") es de 0,014 gr/cm<sup>3</sup>.

Se puede observar que el comportamiento de los valores va de mayor a menor, se advierte asimismo que la diferencia de las densidades de un tamaño máximo y otro no son tan considerables ya que es mínima la diferencia.

**Figura 3.84:** *% de vacíos vs tamaño máximo (GUADALQUIVIR)*



**Fuente:** *elaboración propia*

El gráfico presenta los valores en forma lineal al igual que el gráfico de densidad vs tamaño máximo, los valores de los % de vacíos decrecen desde el tamaño máximo de 1/2" hasta llegar al menor porcentaje en el tamaño máximo de 1".

En el tamaño máximo de 1" presenta un porcentaje de 3,841 %, el tamaño máximo de 3/4" presenta un porcentaje de 4,201 % y el tamaño máximo de 1/2" presenta un porcentaje de 4,050 %. Esto nos representa que a mayor tamaño máximo menor será el % de vacíos.

La diferencia en porcentaje entre un tamaño y otro es de la siguiente manera: Entre el tamaño máximo de 1" y el de 3/4" presentan una diferencia de 0,36 %, la diferencia en porcentaje del tamaño máximo de 3/4" y el de 1/2" es de 0,151 % y entre el tamaño máximo de 1" y 1/2" presenta una diferencia de porcentaje de 0,209 %.

El porcentaje de vacíos menor se presenta en el tamaño máximo de 1" debido a que la granulometría para este tamaño máximo es continua, ya que este factor influye en los vacíos, por consiguiente en el tamaño máximo de 1/2" es mayor el porcentaje de vacíos ya que presenta una granulometría uniforme.

**Figura 3.85:** *V.A.M. (vacíos del agregado mineral) vs tamaño máximo (GUADALQUIVIR)*



Fuente: *elaboración propia*

En el gráfico se puede observar que el comportamiento del % de vacíos del agregado mineral vs al tamaño máximo tiende a tener una similitud al comportamiento del % de vacíos vs al tamaño máximo.

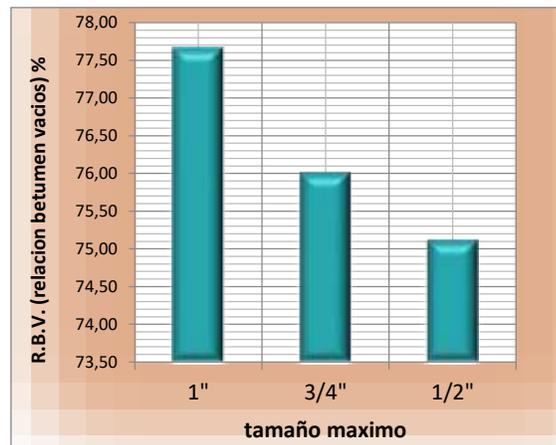
El % de vacíos del agregado mineral aumentan en función que el tamaño máximo disminuye o viceversa.

El tamaño máximo de 1" presenta un porcentaje de 17,20 %, el ¾" presenta un porcentaje de 17,51 % y el tamaño máximo de ½" presenta un porcentaje de 17,68%.

La diferencia de un porcentaje y otro se presenta de la siguiente manera: entre el tamaño máximo de 1" y ¾" presenta un porcentaje de 0,31 %, entre el tamaño máximo de ¾" y ½" presenta una diferencia de porcentaje de 0,17 % y la diferencia entre el tamaño máximo de 1" y de ½" es de 0,48 %.

El comportamiento de los V.A.M. depende del % de vacíos y de la densidad de la mezcla es por este motivo que los vacíos del agregado mineral tiene el mismo comportamiento de los vacíos.

**Figura 3.86:** *R.B.V (Relación betumen-vacíos) vs tamaño máximo (GUADALQUIVIR)*



**Fuente:** *elaboración propia*

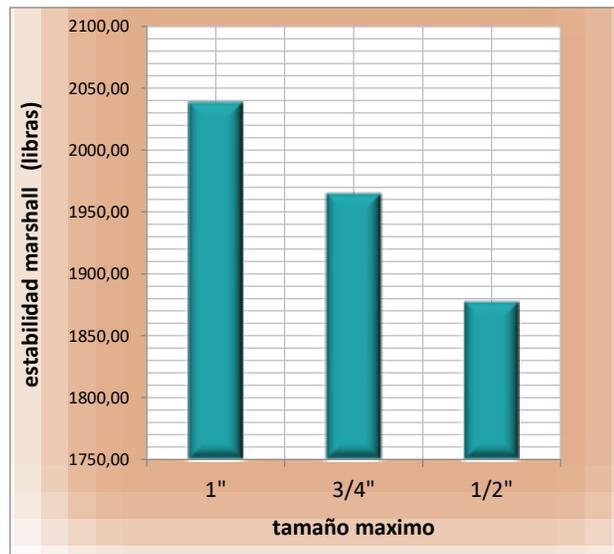
En el gráfico se observa que el % de R.B.V (relación betumen-vacíos) es mayor en el tamaño máximo de 1" y el menor porcentaje se presenta en el tamaño máximo de 1/2". Lo que resulta es que a mayor tamaño máximo del agregado grueso será mayor el % de R.B.V. y viceversa.

El porcentaje mayor se contempla en el tamaño máximo de 1" con un porcentaje de 77,67 % de R.B.V., el porcentaje menor se observa en el tamaño máximo de 1/2" con 75,12%.

La diferencia de porcentajes entre un tamaño máximo y otro se presenta de la siguiente manera: Entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" la diferencia en porcentaje es del 1,66 %, entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" la diferencia es de 0,89 % y la diferencia de porcentaje entre el mayor porcentaje que se exhibe en el tamaño máximo de 1" y el menor porcentaje que se presenta en el tamaño máximo de 1/2" es de 2,55%.

La relación betumen-vacíos está ligada al comportamiento del % de vacíos y al % de los vacíos del agregado mineral (V.A.M.), por este motivo el comportamiento de la relación betumen-vacíos frente a la variación del tamaño máximo, que va decreciendo de mayor a menor

**Figura 3.87:** *Estabilidad vs tamaño máximo (GUADALQUIVIR)*



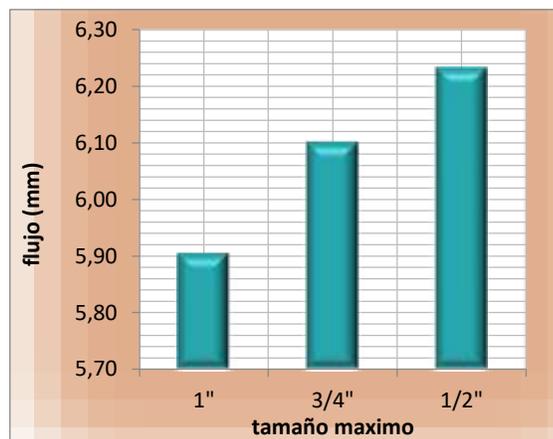
Fuente: *Elaboración propia*

El comportamiento de la estabilidad es directamente proporcional al tamaño máximo esto quiere decir que a mayor tamaño máximo del agregado mayor será el valor de la estabilidad.

La estabilidad mayor se expone en el tamaño máximo de 1" debido a que este tamaño brinda un mejor comportamiento de la mezcla al efecto de la carga. El valor máximo de estabilidad es de 2038 libras en el tamaño máximo de 1" y el valor menor de 1877 libras en el tamaño máximo de 1/2".

La diferencia del valor de la estabilidad entre un tamaño máximo y otro es el siguiente: Entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" es de 73 libras, la diferencia de entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" es de 88 libras y la diferencia entre el tamaño máximo mayor y el tamaño máximo menor la diferencia del valor de la estabilidad es de 161 libras.

**Figura 3.88:** *Flujo vs tamaño máximo (GUADALQUIVIR)*



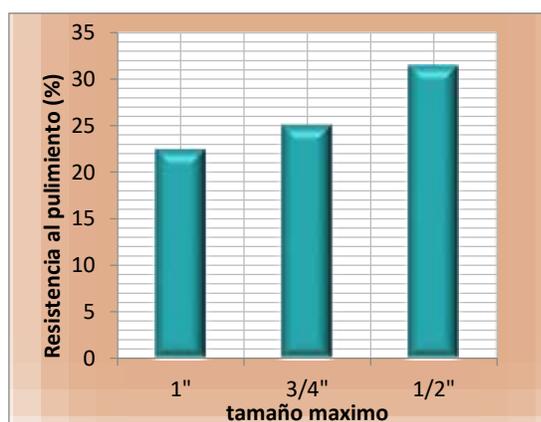
Fuente: *elaboración propia*

El flujo tiene un comportamiento contrario al de la estabilidad a mayor estabilidad menor fluencia, como se puede observar en el gráfico a mayor tamaño máximo menor es el valor de la fluencia y viceversa.

El flujo mayor se presenta en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " con 6,234 (mm) y el valor menor se exhibe en el tamaño máximo de 1" con 5,906 (mm).

La diferencia de flujo entre el tamaño máximo de 1" y  $\frac{3}{4}$ " es de 0,196 mm, la diferencia entre el tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ " es de 0,132 mm y la diferencia entre el tamaño máximo de 1" y  $\frac{1}{2}$ " es de 0,328 mm.

**Figura 3.89:** Resistencia a la abrasión vs tamaño máximo (GUADALQUIVIR)



Fuente: *Elaboración propia*

En el grafico 3.89 se puede contemplar que el comportamiento de la resistencia a la abrasión es menor mientras que el tamaño máximo es mayor y viceversa.

El porcentaje menor de desgaste es el tamaño máximo de 1" con un 7,8 % y el mayor desgaste se expone en el tamaño máximo de 1/2" con el 29.7 %.

La diferencia en porcentaje de la resistencia a la abrasión entre el tamaño máximo de 1" y tamaño máximo de 3/4" es de 11 %, la diferencia en porcentaje entre el tamaño máximo de 3/4" y tamaño máximo de 1/2" es de 10,9 % y la diferencia del porcentaje entre el tamaño máximo de 1" y 1/2" es de 21,9 %.

Con esto se confirma que si el tamaño máximo del agregado es mayor tendrá mayor resistencia al efecto de la abrasión ya que la resistencia del agregado pétreo influye en el desgaste de la mezcla.

**3.7.1.4 Propiedades de la mezcla conformada por los agregados del rio Tolomosa**

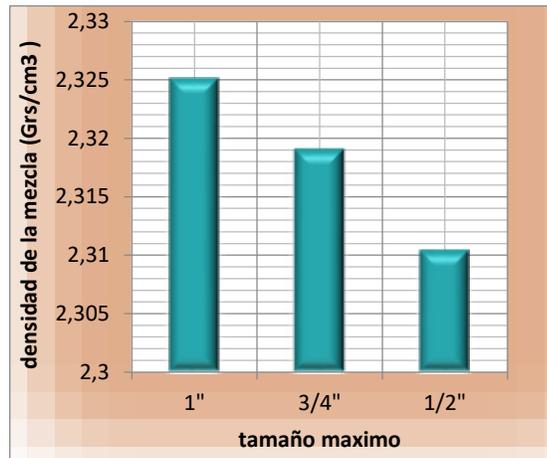
**Tabla 3.41** Tabla de resultados de la determinación de las propiedades de la mezcla (TOLOMOSA)

Peso específico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)										Peso específico máximo de Mezclas Compact. (AASHTO T-209)					estabilidad Marshall				flujo			ensayo de cántabro				
N° de probeta	probeta según el tamaño máximo	altura de probeta	base mezcla	peso probeta			vol	densidad probeta		% de vacíos					lectura del dial	carga	factor de corrección	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio	peso antes del desgaste	peso después del desgaste	% de desgaste	% de desgaste promedio
				seco	Sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla tota	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)													
				grs.	grs.	grs.	CC	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%													
1	1"	6,35	5,7	1192,3	1196,3	685,2	511,1	2,333						185,0	2058,6	1,00	2058,6		150,0	0,05906		1192,1	1000,0	16,1		
2	1"	6,33	5,7	1189,6	1193,9	680,2	513,7	2,316	2,325	2,398	3,045	16,1	81,09	170,0	1907,2	1,01	1926,3	2021	145,0	0,05709	5,840	1190,0	985,3	17,2	16,5	
3	1"	6,32	5,7	1190,6	1195,8	684,1	511,7	2,327						185,0	2058,6	1,01	2079,2		150,0	0,05906		1192,0	999,2	16,2		
4	3/4"	6,39	5,7	1184	1188	678,6	509,3	2,325						185	2059	0,99	2038		150	0,0591		1190,8	962	19,2		
5	3/4"	6,35	5,7	1185	1190	679,5	510,4	2,322	2,319	2,398	3,297	16,32	79,8	160	1805	1,00	1805	1947	160	0,063	6,037	1165,0	892,3	23,4	19,9	
6	3/4"	6,37	5,7	1186	1189,0	675,6	513,4	2,31						180	2008	1,00	1998		150	0,0591		1190,0	985	17,2		
7	1/2"	6,35	5,7	1191	1194	682,1	511,9	2,326	2,310	2,398	3,657	16,63	78,01	165	1856	1,00	1856	1844	155	0,061	6,168	1192,2	1127,1	5,5	21,9	

8	1/2"	6,42	5,7	1190	1198	679,8	518,5	2,294					170	1907	0,98	1869		155	0,061		1194,0	832,1	30,3	
9	1/2"	6,35	5,7	1190	1195	680,1	514,7	2,311					160	1805	1,00	1805		160	0,063		1193,0	835,0	30,0	

Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 3.90:** Densidad vs tamaño máximo (TOLOMOSA)



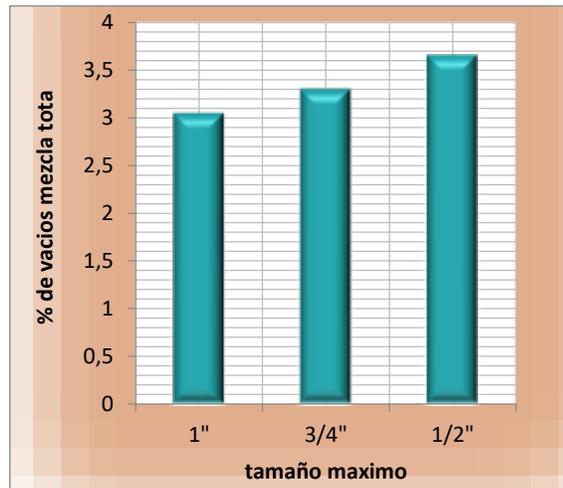
**Fuente:** *Elaboración propia*

En el gráfico se observa una regresión lineal de los valores esto quiere decir que a mayor tamaño máximo mayor densidad de la mezcla. Entre los 3 tamaños máximos en estudio se determinó que en el tamaño máximo de 1" se presenta la mayor densidad con 2.325 gr/cm<sup>3</sup> que va decreciendo hasta llegar a una menor densidad en el tamaño máximo de ½" con 2.310 gr/cm<sup>3</sup>.

La diferencia de la densidad del tamaño máximo de 1" y el de ¾" es de 0,006gr/cm<sup>3</sup>, la diferencia de densidad entre el tamaño máximo de ¾" y ½" es de 0,009 gr/cm<sup>3</sup>, y la diferencia entre el valor mayor (1") y el menor (½") es de 0,015 gr/cm<sup>3</sup>.

Se puede observar que el comportamiento de los valores va de mayor a menor, se observa también que la diferencia de las densidades de un tamaño máximo y otro no son tan considerables ya que es mínima la diferencia.

**Figura 3.91:** % de vacíos vs tamaño máximo (TOLOMOSA)



**Fuente:** elaboración propia

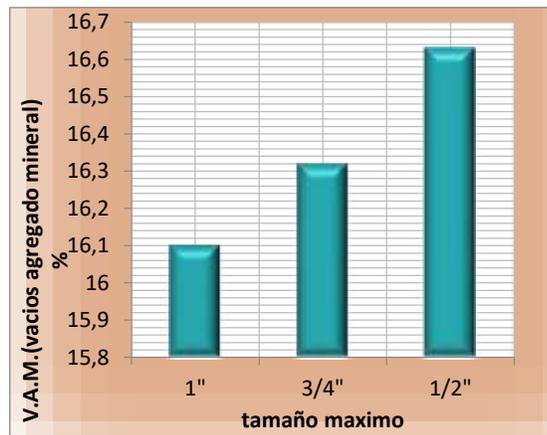
En el gráfico se contempla que el comportamiento del porcentaje de vacíos de la mezcla va disminuyendo en función al aumento de tamaño máximo del agregado. Esto quiere decir que a mayor tamaño máximo menor % de vacíos en la mezcla.

En el tamaño máximo de 1" presenta un porcentaje de 3,045 %, el tamaño máximo de ¾" exhibe un porcentaje de 3,297 % y el tamaño máximo de ½" presenta un porcentaje de 3,657 %. Esto nos representa que a mayor tamaño máximo menor será el % de vacíos.

La diferencia en porcentaje entre un tamaño y otro es de la siguiente manera: entre el tamaño máximo de 1" y el de ¾" exponen una diferencia de 0,252 %, la diferencia en porcentaje del tamaño máximo de ¾" y el de ½" es de 0.36 % y entre el tamaño máximo de 1" y ½" presenta una diferencia de porcentaje de 0,612 %.

El porcentaje de vacíos menor se presenta en el tamaño máximo de 1" debido a que la granulometría para este tamaño máximo es continua, ya que este factor influye en los vacíos, por consiguiente en el tamaño máximo de ½" es mayor el porcentaje de vacíos ya que presenta una granulometría uniforme.

**Figura 3.92:** V.A.M. (vacíos del agregado mineral) vs tamaño máximo (TOLOMOSA)



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico se puede observar que el comportamiento del % de vacíos del agregado mineral vs al tamaño máximo tiende a tener una similitud al comportamiento del % de vacíos vs al tamaño máximo.

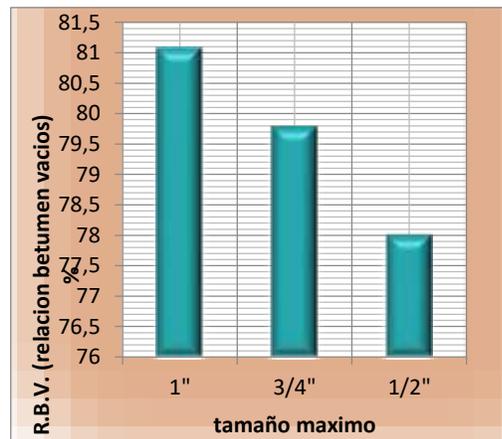
El % de vacíos del agregado mineral aumentan en función que el tamaño máximo disminuye o viceversa.

El tamaño máximo de 1" presenta un porcentaje de 16.10 %, el ¾" presenta un porcentaje de 16,32 % y el tamaño máximo de ½" presenta un porcentaje de 16,63%.

La diferencia de un porcentaje y otro se presenta de la siguiente manera: entre el tamaño máximo de 1" y ¾" exhibe un porcentaje de 0,22 %, entre el tamaño máximo de ¾" y ½" presenta una diferencia de porcentaje de 0,31 % y la diferencia entre el tamaño máximo de 1" y de ½" es de 0,53 %.

El comportamiento de los V.A.M. depende del % de vacíos y de la densidad de la mezcla es por este motivo que los vacíos del agregado mineral tiene el mismo comportamiento de los vacíos.

**Figura 3.93:** *R.B.V (Relación betumen-vacíos) vs tamaño máximo (TOLOMOSA)*



Fuente: *Elaboración propia*

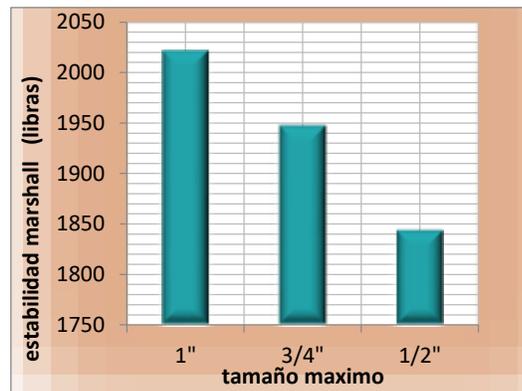
En el gráfico se observa que el % de R.B.V (relación betumen-vacíos) es mayor en el tamaño máximo de 1" y el menor porcentaje se ostenta en el tamaño máximo de 1/2". Lo que resulta es que a mayor tamaño máximo del agregado grueso será mayor el % de R.B.V. Y viceversa.

El porcentaje mayor se contempla en el tamaño máximo de 1" con un porcentaje de 81,09 % de R.B.V., el porcentaje menor se observa en el tamaño máximo de 1/2" con 78,01 %.

La diferencia de porcentajes entre un tamaño máximo y otro se presenta de la siguiente manera: Entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" la diferencia en porcentaje es del 1,29 %, entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" la diferencia es de 1,79 % y la diferencia de porcentaje entre el mayor porcentaje que se muestra en el tamaño máximo de 1" y el menor porcentaje que se expone en el tamaño máximo de 1/2" es de 3,08 %.

La relación betumen-vacíos está ligada al comportamiento del % de vacíos y al % de los vacíos del agregado mineral (V.A.M.), por este motivo el comportamiento de la relación betumen-vacíos frente a la variación del tamaño máximo, que va decreciendo de mayor a menor

**Figura 3.94:** *Estabilidad vs tamaño máximo (TOLOMOSA)*



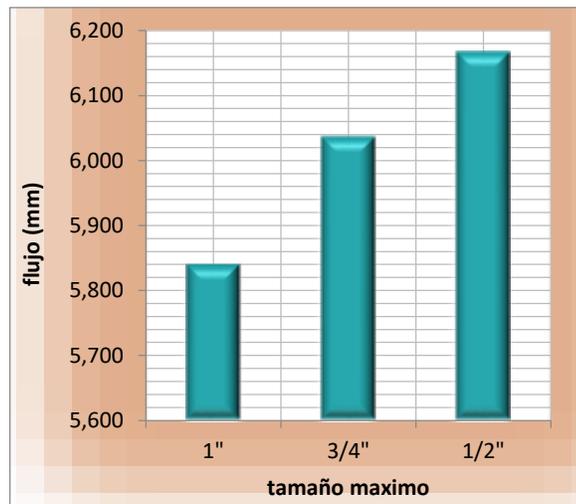
**Fuente:** *elaboración propia*

El comportamiento de la estabilidad es directamente proporcional al tamaño máximo esto quiere decir que a mayor tamaño máximo del agregado mayor será el valor de la estabilidad.

La estabilidad mayor se presenta en el tamaño máximo de 1" debido a que este tamaño brinda un mejor comportamiento de la mezcla al efecto de la carga. El valor máximo de estabilidad es de 2021 libras en el tamaño máximo de 1" y el valor menor de 1844 libras en el tamaño máximo de 1/2".

La diferencia del valor de la estabilidad entre un tamaño máximo y otro es el siguiente: Entre el tamaño máximo de 1" y 3/4" es de 74 libras, la diferencia de entre el tamaño máximo de 3/4" y 1/2" es de 1.26 libras y la diferencia entre el tamaño máximo mayor y el tamaño máximo menor la diferencia del valor de la estabilidad es de 177 libras.

**Figura 3.95:** *Flujo vs tamaño máximo (TOLOMOSA)*



Fuente: *elaboración propia*

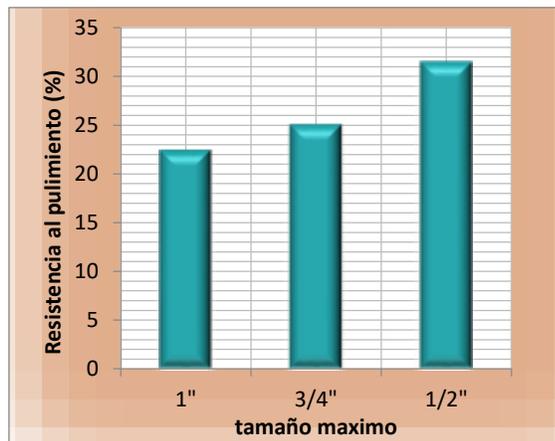
El flujo tiene un comportamiento contrario al de la estabilidad a mayor estabilidad menor fluencia, como se puede observar en el gráfico a mayor tamaño máximo menor es el valor de la fluencia y viceversa.

El flujo mayor se presenta en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " con 6,168 (mm) y el valor menor se presenta en el tamaño máximo de 1" con 5.84 (mm).

La diferencia de flujo entre el tamaño máximo de 1" y  $\frac{3}{4}$ " es de 0.197 mm, la diferencia entre el tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ " es de 0.131 mm y la diferencia entre el tamaño máximo de 1" y  $\frac{1}{2}$ " es de 0.328 mm.

La fluencia está ligada a la trabajabilidad de la mezcla es por eso que a menor tamaño la mezcla presenta un mayor flujo y mayor trabajabilidad.

**Figura 3.96:** *resistencia a la abrasión vs tamaño máximo (TOLMOSA)*



Fuente: *elaboración propia*

En el gráfico 3.96 se puede contemplar que el comportamiento de la resistencia a la abrasión es menor mientras que el tamaño máximo es mayor y viceversa.

El porcentaje menor de desgaste es el tamaño máximo de 1" con un 16.5 % y el mayor desgaste se muestra en el tamaño máximo de 1/2" con el 21.9 %.

La diferencia en porcentaje de la resistencia a la abrasión entre el tamaño máximo de 1" y tamaño máximo de 3/4" es de 3.4 %, la diferencia en porcentaje entre el tamaño máximo de 3/4" y tamaño máximo de 1/2" es de 2 % y la diferencia del porcentaje entre el tamaño máximo de 1" y 1/2" es de 5.4 %.

Con esto se confirma que si el tamaño máximo del agregado es mayor tendrá mayor resistencia al efecto de la abrasión ya que la resistencia del agregado pétreo influye en el desgaste de la mezcla.

### 3.7.2 Análisis general de las propiedades de la mezcla

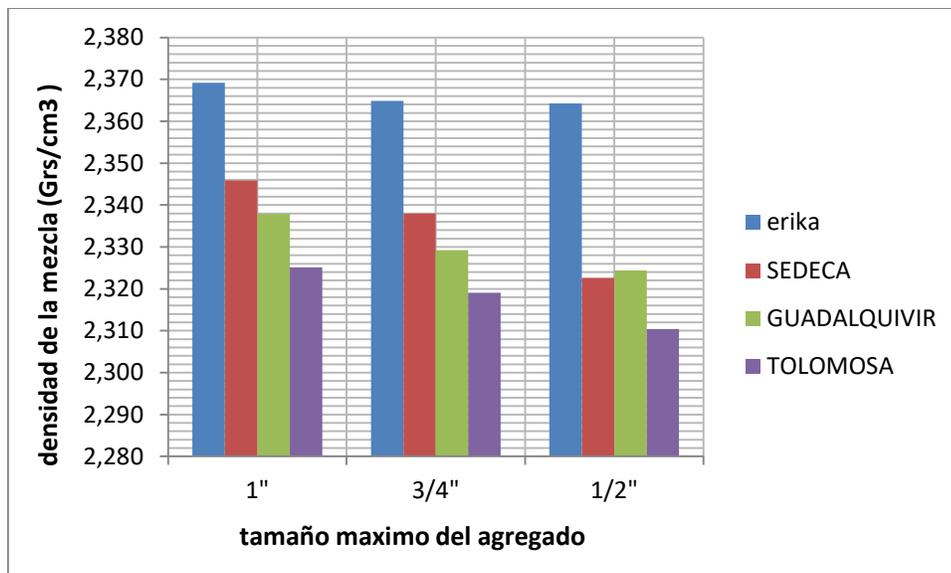
**Tabla 3.42** *Tabla de resultados generales de la determinación de las propiedades de la mezcla (GENERAL)*

Agregados	Tamaño máximo	densidad promedio (Grs/cm <sup>3</sup> )	% de vacíos mezcla tota	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Estabilidad (libras)	flujo promedio	% de desgaste promedio
ERIKA	1"	2,369	4,799	17,170	72,050	2069,302	5,381	36,830
	3/4"	2,365	4,975	17,324	71,280	1939,326	5,709	42,117
	1/2"	2,364	4,997	17,343	71,184	1899,842	6,102	53,598
SEDECA	1"	2,346	3,001	16,138	81,634	2204,382	5,919	22,450
	3/4"	2,338	3,292	16,421	79,955	2128,664	6,579	26,062
	1/2"	2,323	3,924	16,968	76,872	1950,491	8,163	30,856
GUADALQUIVIR	1"	2,338	3,841	17,201	77,668	2038,192	5,906	7,781
	3/4"	2,329	4,200	17,510	76,015	1964,801	6,102	18,770
	1/2"	2,324	4,399	17,681	75,120	1877,389	6,234	29,727
TOLOMOSA	1"	2,325	3,045	16,102	81,090	2021,361	5,840	16,497
	3/4"	2,319	3,297	16,321	79,796	1947,196	6,037	19,950
	1/2"	2,310	3,657	16,632	78,012	1843,549	6,168	21,926

**Fuente:** *Elaboración propia*

La tabla 3.42 presenta los resultados de las 2 plantas y 2 yacimientos empleados para la investigación donde se exhiben los valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.

**Figura 3.97:** *Densidad vs tamaño máximo*

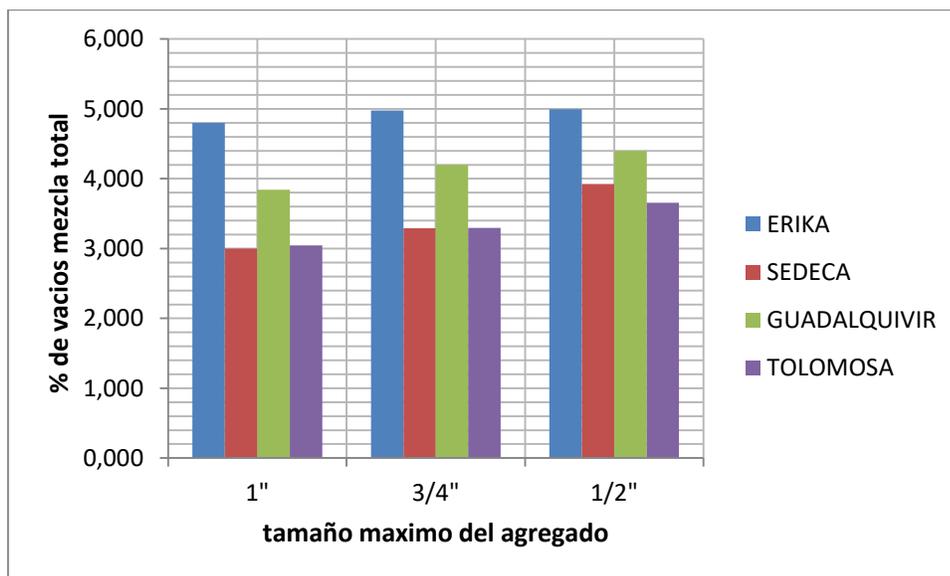


**Fuente:** *elaboración propia*

- ✓ Según la figura 3.97 se presenta de manera general la variación de la densidad en cada uno de los diferentes tipos de agregados empleados. El gráfico demuestra que en las diferentes plantas y yacimiento, la densidad es mayor a un tamaño máximo mayor y viceversa.
- ✓ Se puede observar asimismo que la mayor densidad que se muestra es la de los materiales triturados.

- ✓ Los agregados naturales enseñan valores menores que los agregados triturados, esto puede presentarse debido a que el material triturado tiende a que las partículas se unen unas con otras lo que en los agregados naturales no sucede con facilidad ya que estos agregados naturales resbalan entre ellos por su forma que presentan las partículas (lisas y redondas).
- ✓ En el tamaño máximo de 1" se contempla que las densidades tienen un mayor valor que en los demás tamaños máximos (3/4" y 1/2"), este comportamiento es similar al de los diferentes agregados.
- ✓ Se observa que la mayor densidad se expone en el tamaño máximo de 1" de la con un valor de densidad de 2.369 gr/cm<sup>3</sup> y el menor valor se presenta en el tamaño máximo de 1/2" en el yacimiento del rio Tolomosa con una densidad de 2.310 gr/cm<sup>3</sup>. Este comportamiento es debido a que el material de triturado presenta mejores condiciones, ya que esto influye en la unión de las partículas y compactación.

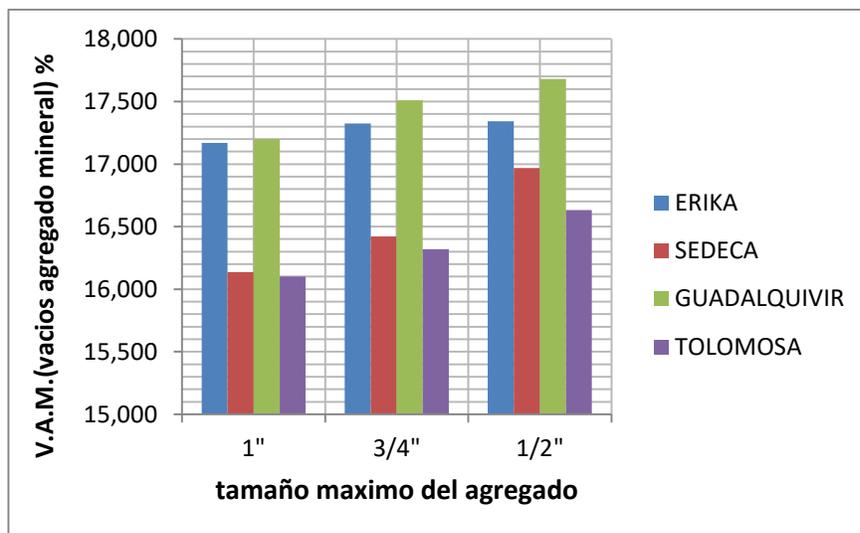
**Figura 3.98:** % de vacíos vs tamaño máximo



Fuente: *Elaboración propia*

- ✓ Como se observa en el gráfico 3.98 el % de vacíos es mayor cuando el tamaño máximo del agregado es menor. También se puede advertir que los diferentes tipos de agregados en estudio se comportan de manera similar ya que van subiendo los valores en función a que aumenta el tamaño máximo.
- ✓ También se puede observar que el agregado de la planta de ERIKA presenta valores mayores de % de vacíos a comparación de los demás agregados esto es debido a que exhibe una granulometría escasa de finos.
- ✓ Se puede contemplar que los materiales naturales (Guadalquivir y Tolomosa), tienden a tener un comportamiento similar en el % de vacíos de la mezcla. En el caso de las plantas expone una variación considerable esto puede deberse a la variación en sus granulometrías.
- ✓ El mayor porcentaje de vacíos se muestra en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " en la planta de ERIKA con un porcentaje de 4,997 % y el menor porcentaje de vacíos se presenta en el tamaño máximo de 1" en la planta de 3 %.
- ✓ El porcentaje de vacíos tiende a ser menor a medida que aumenta el tamaño máximo como sucede en el tamaño máximo de 1", este comportamiento es debido a que se presenta una granulometría continua y por el contrario en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " avala una granulometría uniforme que hace que tenga la mezcla un mayor % de vacíos.
- ✓ se observa también que el comportamiento del % de los vacíos es a la inversa del comportamiento de la densidad en función tamaño máximo.

**Figura 3.99:** *V.A.M. (vacíos agregado mineral) vs tamaño máximo*

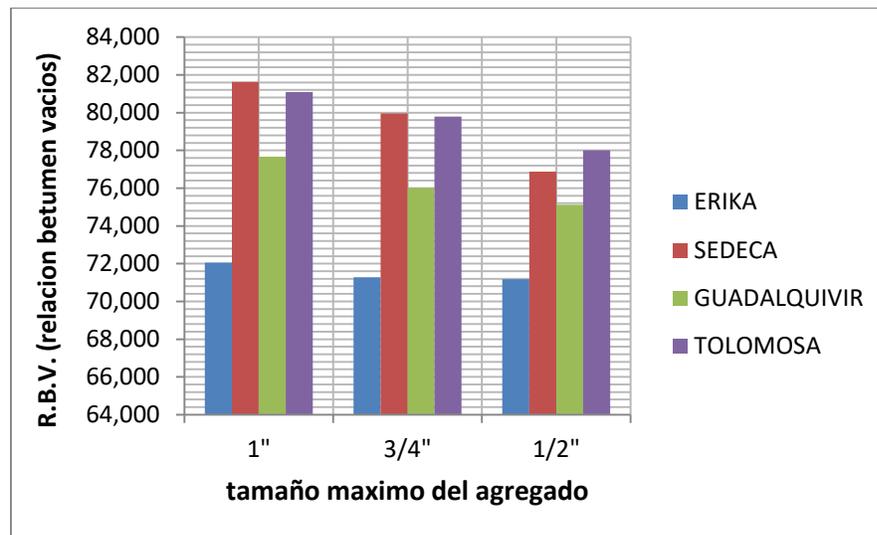


Fuente: *elaboración propia*

- ✓ mediante la figura 3.99 se advierte que el comportamiento de V.A.M. es similar al del % de vacíos de la mezcla, ya que a menor tamaño máximo del agregado menor % de V.A.M.
- ✓ Se observa también que el material de la planta de ERIKA presenta valores mayores que los demás agregados en estudio, este comportamiento es debido a la granulometría que contiene esta planta, ya que contiene un porcentaje menor de finos en su granulometría.
- ✓ El comportamiento de los agregados naturales presentan un comportamiento similar en la variación del % V.A.M vs el tamaño máximo del agregado.
- ✓ El porcentaje menor se presenta en el tamaño máximo de 1" en el agregado de la planta SEDECA con un porcentaje de 16.138 %, y el porcentaje mayor se presenta en el tamaño máximo de 1/2" en el agregado del rio Guadalquivir con un porcentaje de 17.681%.
- ✓ La diferencia de los porcentajes máximos y mínimos de cada uno de los agregados estudiados es de la siguiente manera: en el caso de la planta de SEDECA la diferencia de porcentaje es del 0,83 %, en la planta de ERIKA la diferencia es del 0,173 %, en el

rio Guadalquivir la es del 0,48 % y en el rio Tolomosa se exhibe una diferencia del 0,53%.

**Figura 3.100:** % R.B.V. (Relación betumen-vacíos) vs tamaño máximo

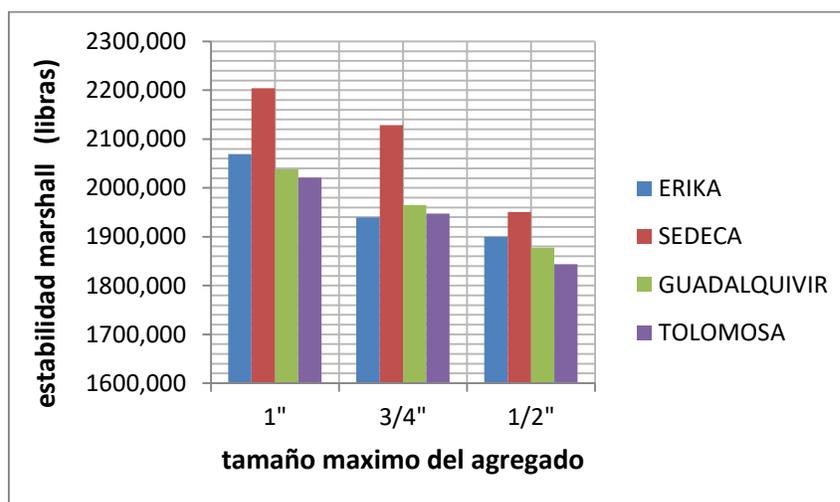


Fuente: *Elaboración propia*

- ✓ Se puede contemplar en la figura 3.100 que el comportamiento de R.B.V. (relación betumen-vacíos) es directamente proporcional al tamaño máximo y esto se puede verificar que en todos los tipos de agregado en estudio tienen similar comportamiento.
- ✓ Se puede observar que el % de R.B.V. se presenta en un mayor % en el caso del agregado triturado de la planta de SEDECA, y el menor porcentaje de R.B.V en el caso de los agregados de la planta de ERIKA.
- ✓ Se puede verificar que el % de la relación betumen-vacíos es mayor en la planta de SEDECA por el motivo que presenta mayor contenido de fino (pasa tamiz 200).

- ✓ El mayor porcentaje de la relación betumen-vacíos se presenta en el tamaño máximo de 1" en el agregado de la planta de SEDECA con un porcentaje de 81,634 % y el menor porcentaje se expone en el tamaño máximo de 1/2" en el agregado de la planta de ERIKA con el 71,184 % de R.B.V.

**Figura 3.101:** Estabilidad (libras) vs tamaño máximo

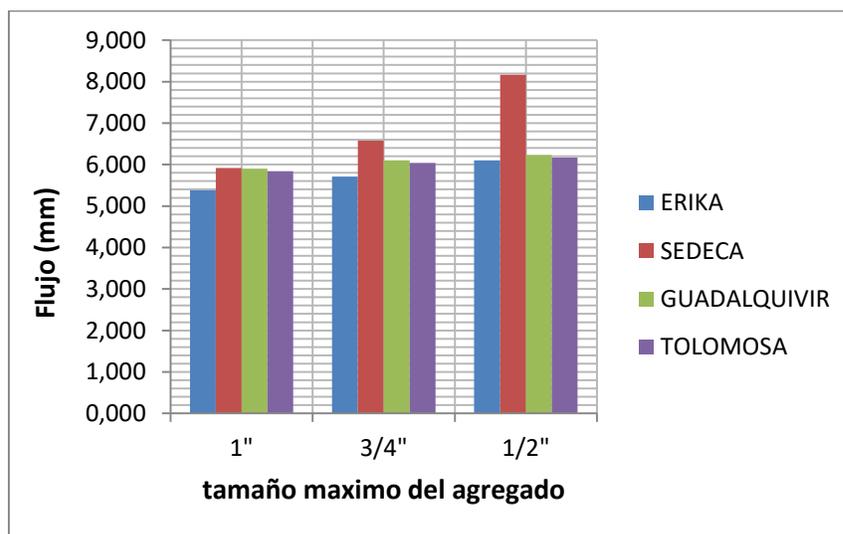


**Fuente:** elaboración propia

- ✓ En el gráfico se puede observar el comportamiento de la estabilidad en función a la variación del tamaño máximo, que nos representa que a mayor tamaño máximo mayor es la estabilidad. Este comportamiento de la estabilidad se avala en cada uno de los agregados empleados en la investigación.
- ✓ La mayor estabilidad se presenta en la planta de SEDECA debido a que presenta una mejor composición granulométrica de los agregados, por la forma de sus agregados y la compactación de la mezcla.
- ✓ Se puede observar que mejora el comportamiento de la estabilidad los materiales triturados y un tamaño máximo mayor debido a la cohesión y entre las partículas en razón a la forma que presenta las partículas.

- ✓ El valor mayor de estabilidad se presenta en el tamaño máximo de 1" de los agregados de la planta de SEDECA con 2204 libras, y el menor valor de la estabilidad se presenta en el tamaño máximo de ½" de los agregados del rio Tolomosa con 1843.55 libras.
- ✓ En el caso de los agregados naturales el comportamiento de la estabilidad frente a la variación del tamaño máximo se observa que es similar ya que ambos materiales poseen partículas redondas y lisas.

**Figura 3.102: Flujo (mm) vs tamaño máximo**

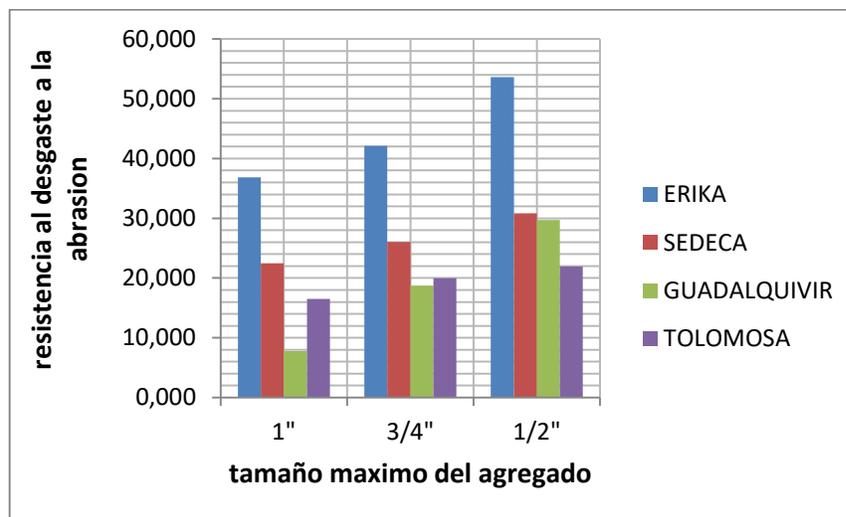


**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ En el grafico 3.102 se contempla que la fluencia tiene un comportamiento contrario al de la estabilidad. Esto quiere decir que al aumentar el tamaño máximo disminuye la fluencia de la mezcla esto hace que la mezcla asfáltica en caliente sea menos trabajable que la mezcla conformada por un menor tamaño máximo del agregado.
- ✓ También se puede observar que el material que presenta un mayor valor de flujo es la de la planta de SEDECA con una fluencia de 8,163 mm, ya que los finos presentan una granulometría uniforme.

- ✓ El comportamiento del agregado natural se exhibe de una forma similar ya que la variación del flujo es mínima debido a la naturaleza de los agregados y la forma de estos.
- ✓ Se observa que la menor fluencia se presenta en el tamaño máximo de 1" en la planta de ERIKA con un valor de 5.381 mm y el flujo mayor se encuentra en el tamaño máximo de ½" en la planta de SEDECA con 8,163 mm.
- ✓ La diferencia que se observa en el análisis general de los agregados entre la mayor fluencia y la menor es del 2,782 mm.

**Figura 3.103:** Resistencia al desgaste por abrasión (%) vs tamaño máximo



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ En el gráfico 3.103 se observa que el comportamiento de la resistencia al desgaste por abrasión es mayor cuando el tamaño máximo del agregado es menor se puede observar que en los cuatro casos de los agregados se desgastan en un mayor porcentaje en el tamaño máximo de ½".

- ✓ El mayor desgaste que se presenta en el estudio es en la planta de ERIKA con un 53.6 % en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " y el menor desgaste se exhibe en el tamaño máximo de 1" del río Guadalquivir con el 7.8 %.
- ✓ Se puede observar también que el material natural sufre un menor porcentaje de desgaste en comparación con el agregado triturado, debido a una mayor resistencia al efecto abrasivo y otro factor importante es que el material pétreo natural posee mejores propiedades al intemperismo que el material triturado.
- ✓ La planta de ERIKA presenta un mayor desgaste esto es debido a que la mezcla conformada por este agregado tiene un mayor porcentaje de vacíos que implica una menor adherencia entre partículas, debido a la escasa presencia de finos que ocasiona la disgregación y desprendimiento entre las partículas de la mezcla al efecto abrasivo.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

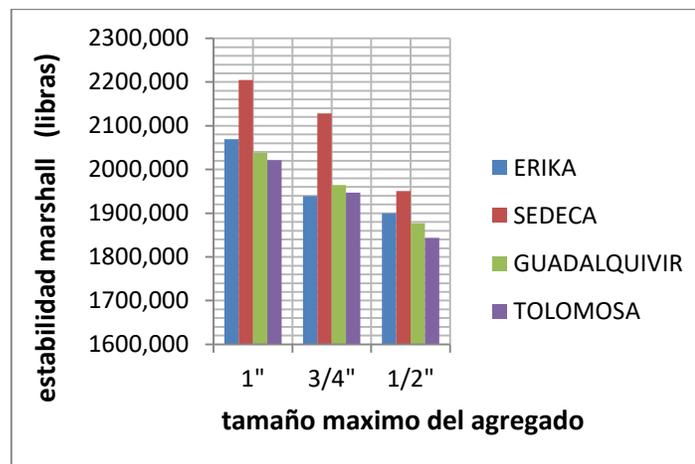
- ✓ En la presente investigación se cumplió con los objetivos planteados ya que se demuestra que el tamaño máximo influye en las propiedades de resistencia de las mezclas asfálticas en caliente, aunque esta variación no sea tan relevante de un tamaño máximo a otro.
  - ✓ Se realizó la caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica en caliente, tanto del agregado pétreo como del cemento asfáltico mediante ensayos determinados por la norma AASHTO Y ASTM.
  - ✓ Se practicó el estudio de tres tamaños máximos del agregado pétreo para la dosificación de la mezcla asfáltica en caliente (1".3/4"y 1/2"), donde se obtuvieron sus propiedades mediante el método Marshall (densidad, estabilidad, flujo,% de vacíos, V.A.M., R.B.V.) y el ensayo Cántabro (resistencia al efecto de la abrasión), para lo cual se pudo constatar que el tamaño máximo de 1" presenta un mejor comportamiento en sus propiedades determinadas por el método Marshall a excepción de la fluencia.
  - ✓ Como se observa en la gráfica 4.1 la estabilidad mayor se presenta en el material triturado de la planta de SEDECA (San José de Charaja), en el tamaño máximo de 1" con un valor de 2204,382 libras y la estabilidad menor se exhibe en el material natural de Tolomosa, en el tamaño máximo de 1/2" con 1843,55 libras observando una disminución de la estabilidad de un tamaño y otro, presentando así una diferencia de 360,45 libras que en porcentaje se demuestra con un 16,354 %.
- Los resultados de estabilidad que se observan para el tamaño máximo de 1", presentan un mayor valor en la planta de Sedeca con 2204,382 libras y el menor valor en el mismo tamaño máximo se presenta en el material de Tolomosa con 2021,361 libras, la diferencia de un valor y otro es de 182,639 libras que disminuye en un 8,287 %.

En el tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ ", observando los resultados se presenta el máximo valor en Sedeca con 2128,664 libras y el menor valor de estabilidad en la planta de Erika con 1939.326 libras lo que muestra una disminución o diferencia de 189,338 libras que en porcentaje varía en 8,894% lo que demuestra que no es tan relevante esta variación.

En el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " los valores extremos se muestra en el material de Sedeca con 1950,491 libras y el valor mínimo en el material de Tolomosa con 1843,549 libras, que demuestra que existe una diferencia de un material y otro de 106,942 libras que en porcentaje es un 5,483 % lo que disminuye.

Esto resulta porque en un material triturado tienden a unirse las partículas, por el contrario el material natural tienden a desplazarse entre partículas.

**Figura4.1:** Estabilidad (libras) vs tamaño máximo

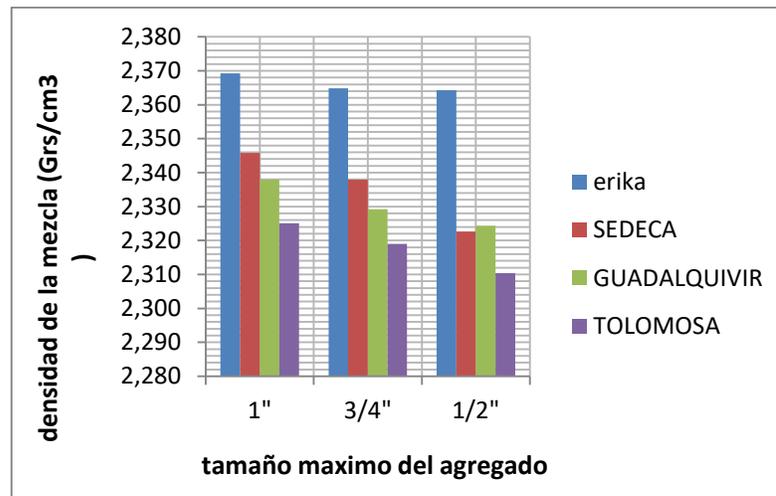


**Fuente:** elaboración propia

- ✓ En la gráfica 4.2 se observa que los valores de densidad mayores se presenta en los materiales triturados. La densidad mayor se presentó en el tamaño máximo de 1" con 2,369 gr/cm<sup>3</sup> y la densidad menor se observa en el material natural del río en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " con 2,310 gr/cm<sup>3</sup> que varían en un 2.49% de un valor y otro. El material que presenta valores mayores de densidad son en las mezclas que se trabajaron con el material triturado, esto se debe a que el material presenta una granulometría continua y según la forma de las partículas este agregado tiende a

compactarse mejor, por el contrario en el caso del material del Guadalquivir y Tolomosa las partículas son de forma redondeada lo que dificulta la compactación. En el caso del valor mínimo de densidad que se presenta en el tamaño máximo de ½” es porque posee una granulometría uniforme y sin olvidar que pertenece a la mezcla elaborada con material natural.

**Figura 4.2:** Densidad vs tamaño máximo



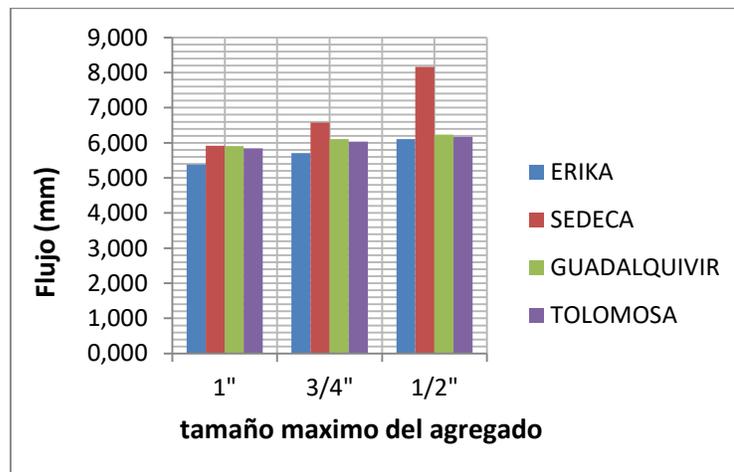
**Fuente:** elaboración propia

- ✓ Según el análisis realizado se puede constatar en la figura 4.3 que el flujo es mayor cuando el tamaño máximo del agregado grueso es menor, ya que realizado el estudio de los materiales pétreos empleados, se observa que la fluencia mayor se presenta en el tamaño máximo de ½” con un valor de 8,163 mm que pertenece al material de SEDECA y por el contrario se determinó que mientras el agregado grueso tenga un tamaño máximo mayor la fluencia disminuye como se presentó en el tamaño máximo de 1” con un valor de 5,381 mm que pertenece al material de ERIKA lo que demuestra que entre un valor y otro disminuye en un 34,081 %. Al evaluar el tamaño máximo de 1” se muestra que el mayor valor es del material de Sedeca con 5,919 mm y el valor menor es de 5,381 mm que pertenece al material de Erika, que muestra una diferencia de 0,538 mm y lo cual disminuye en un 9,089 %. En el tamaño máximo de ¾” el mayor valor se muestra en el material de Sedeca

con 6,579 mm y el valor menor en la planta de Erika con 5,709 mm que se muestra una disminución del 13,223 %. En el tamaño máximo de ½” el mayor valor es de 8,163 mm que pertenece a Sedeca y el valor menor es de 6,102 mm que pertenece al material de Erika, presentando así una diferencia de 4,685 mm entre estos valores extremos del tamaño máximo de ½” y va en disminución de un material a otro de 25,248 %.

Este comportamiento se debe a que una granulometría uniforme y de menor tamaño máximo aumenta la fluencia.

**Figura 4.3:** *Flujo (mm) vs tamaño máximo*



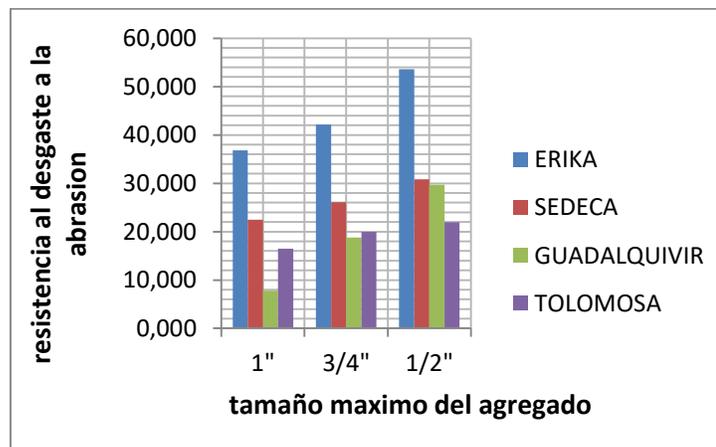
**Fuente:** *elaboración propia*

- ✓ Se pudo constatar en la figura 4.4 que el desgaste a la abrasión es menor cuando al realizar el diseño de la mezcla asfáltica en caliente se trabaja con un material natural ya que los materiales triturados presentaron un mayor desgaste. En la investigación el mayor desgaste se observó en el material triturado con un % de 53,60 en la planta de ERIKA, esto se debe a que el material es triturado y posee una escasa presencia de limos, ya que este material actúan como relleno mineral. El porcentaje de desgaste menor se presentó en el material natural con 7,78% en el tamaño máximo de 1” material extraído del río Guadalquivir. En el tamaño máximo de 1” se observan dos valores extremos entre los materiales estudiados, el valor mayor se muestra en el material de Erika con un 36,830 % de desgaste y el valor menor es de 7,780 %

del material del Guadalquivir, presentando así una diferencia de 29,05 % lo que existe una disminución de un valor a otro de 78,876 %. En el tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " el valor mayor se muestra en el material de Erika con 42,117 % y el valor menor en el material del Guadalquivir con 18,770 % resultando así una diferencia de un valor y otro de 23,347% , lo que demuestra que disminuye a razón de 55,434 %. En el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " el valor mayor se muestra en el material de Erika con 53,598 % y el valor menor es en el material de Tolomosa con 21.900 %, presentando así una diferencia de un material y otro de 23,347%.

Evaluando cada tamaño máximo por separado se observa que el comportamiento del desgaste es significativa entre el material natural y triturado.

**Figura 4.4:** resistencia al desgaste por abrasión (%) vs tamaño máximo



**Fuente:** elaboración propia

- ✓ El porcentaje de vacíos depende de la granulometría de cada planta o yacimiento por lo que en la planta de ERIKA presento un porcentaje de vacíos mayor al de los demás materiales en estudio, presenta un % de vacíos de 4,997, que se presenta en el tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " esto se debe a que la granulometría es uniforme y tiene una escasa presencia de limos y arcillas.
- ✓ Al analizar los resultados obtenidos de las propiedades queda demostrado que las mezclas asfálticas en caliente elaboradas con un tamaño máximo mayor posee un mejor comportamiento que las mezclas elaboradas con un tamaño máximo menor,

a excepto del flujo ya que el comportamiento de esta propiedad se comporta de manera contraria, si aumenta el tamaño máximo la fluencia disminuye y viceversa.

- ✓ Se demuestra lo que refleja las teorías sobre el comportamiento de los materiales pétreos, que los materiales pétreos triturados tienen un mejor comportamiento en las propiedades de una mezcla asfáltica en caliente que los materiales naturales, pero en el caso de la resistencia al efecto de la abrasión el mejor comportamiento que se expone es en los materiales naturales.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- ✓ Es aconsejable tener mucho cuidado a la hora de realizar las mediciones de los diferentes ensayos ya sea para la caracterización del ligante asfáltico como del agregado pétreo, en la lectura de la estabilidad y fluencia en el equipo Marshall ya que debe tener una adecuada precisión.
- ✓ al observar los resultados de las propiedades de la mezcla a diferentes tamaños máximos (1", 3/4", 1/2"), no tienen una gran relevancia en sus valores entre un tamaño máximo y otro por lo que el proyectista tendrá la decisión de utilizar el tamaño máximo del agregado grueso que presenta la granulometría del agregado pétreo a utilizar.
- ✓ Se debe aplicar métodos para la determinación del contenido mínimo del % de asfalto ya que a partir de este porcentaje se debe incrementar los porcentajes de asfalto para la determinación del porcentaje óptimo del asfalto.
- ✓ Se recomienda que la muestra sea homogénea y se debe tener cuidado a la hora de realizar la compactación ya que es necesario efectuar un cuidadoso control de la temperatura de la mezcla asfáltica.
- ✓ Finalmente se aconseja que todos los ensayos que se realicen en el laboratorio se deben ejecutar bajo las normas especificadas de seguridad lo que incluye protección personal para manipular materiales nocivos y equipo que puede facilitar la prevención y dado el caso la mitigación de cualquier inconveniente o accidente de trabajo dentro del laboratorio.

