

**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Civil**

**Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas,  
con el propósito de reducir la contaminación**

**Autor: Karlenn Nicol Freire Alvear**

**Director: Ing. Gustavo Yáñez**

**Quito – Ecuador**

**2018**

## Índice de contenido

<i>AGRADECIMIENTOS</i> .....	9
<i>DEDICATORIA</i> .....	10
RESUMEN .....	11
INTRODUCCIÓN.....	13
ANTECEDENTES .....	15
OBJETIVOS.....	15
Objetivo general .....	15
Objetivos específicos.....	15
JUSTIFICACIÓN.....	16
ALCANCE .....	16
METODOLOGÍA.....	17
1. CAPITULO 1: Marco teórico .....	18
Agregados .....	18
1.1.1. Generalidades .....	18
1.1.2. Ubicación de la obtención de los agregados.....	18
1.2. Cemento Asfáltico .....	19
1.2.1. Generalidades .....	19
1.2.2. Características.....	20
1.2.3. Ubicación de la planta asfáltica .....	20
1.3. Pavimentos.....	21
1.3.1. Pavimento rígido .....	21
1.3.2. Pavimento flexible.....	22
1.3.3. Adoquinado y otros .....	22
1.4. Método Marshall.....	22
1.4.1. Estabilidad .....	25
1.4.2. Flujo.....	25
1.4.3. Gravedad específica Bulk.....	26
1.4.4. Rice.....	27
1.5. Vidrio.....	28
1.5.1. Generalidades .....	28
1.5.2. Propiedades.....	29
1.5.3. Vidrio reciclado .....	29

1.5.4.	Obtención del vidrio molido reciclado .....	30
2.	CAPITULO 2: Ensayos del laboratorio .....	32
2.1.	Ensayo de los agregados .....	32
2.1.1.	Granulometría.....	32
2.1.2.	Equivalente de arena .....	34
2.1.3.	Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los ángeles.....	34
2.1.4.	Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio.....	36
2.1.5.	Gravedad específica y absorción.....	37
2.2.	Ensayo del asfalto .....	38
2.2.1.	Ductilidad .....	38
2.2.2.	Penetración .....	38
2.2.3.	Punto de Chispa.....	38
Normas: ASTM D92 -12B .....		38
2.2.4.	Punto de ablandamiento .....	39
2.2.5.	Viscosidad .....	39
3.	CAPITULO 3: Cálculos y Resultados de la caracterización de los materiales.....	40
3.1.	Resumen de resultados de los agregados con sus respectivas normativas.....	40
3.2.	Resumen de resultados del asfalto .....	41
	Realizando una comparación con la norma MOP-001F-2002, y los resultados obtenidos en el laboratorio tenemos el siguiente cuadro de resumen: .....	41
4.	CAPITULO 4: Mezcla asfáltica original – Método Marshall.....	42
4.1.	Dosificación de la mezcla .....	42
4.2.	Porcentaje óptimo de asfalto aparente descripción.....	44
4.3.	Resultados del ensayo Marshall con la mezcla original .....	45
4.3.1.	Volumen de vacíos .....	45
4.3.2.	Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.....	45
4.3.3.	Porcentaje de vacíos cubiertos con asfalto .....	45
4.4.	Determinación del porcentaje de asfalto óptimo real .....	45
5.	CAPITULO 5: Diseño mezclas asfálticas con vidrio molido .....	48
5.1.	Determinación de la cantidad de vidrio en cada porcentaje .....	48
5.2.	Resultados – método Marshall adición vidrio molido .....	49
6.	CAPITULO 6: Gráficas comparativas .....	50
7.	CAPITULO 7: Costos de la mezcla original – mezcla con vidrio molido.....	54

7.1.	Mezcla asfáltica con 0% de vidrio molido.....	54
7.2.	Mezcla asfáltica con 3% de vidrio molido.....	55
7.3.	Grafica de aumento de precio real con vidrio molido.....	55
8.	CAPITULO 8: Conclusiones y Recomendaciones .....	56
	CONCLUSIONES .....	56
	RECOMENDACIONES.....	58
	Bibliografía.....	59
	<b>ANEXOS</b> .....	60
-	Agregado fino: .....	63
-	Arena:.....	65
	Según la norma ASTM C136, la cantidad mínima para la muestra de arena será de 300gr se tomó:.....	65
-	Equivalente de arena.....	68
-	- Agregado fino .....	68
-	- Arena.....	69
-	Gravedad específica y absorción .....	70
-	- Agregado grueso .....	70
-	- Agregado fino .....	72
-	- Arena.....	74
-	Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los ángeles .....	75
-	Durabilidad de los agregados por acción del sulfato de sodio .....	76
-	Mezcla asfáltica con 0% de vidrio molido .....	79
-	Mezcla asfáltica con 3% de vidrio molido .....	80
-	Mezcla asfáltica con 6% de vidrio molido .....	80
-	Mezcla asfáltica con 9% de vidrio molido .....	80
-	Mezcla asfáltica con 12% de vidrio molido .....	81
-	Mezcla asfáltica con 15% de vidrio molido .....	81
-	Grafica de aumento de precio real con vidrio molido .....	81

## Índice de Fotografías

Fotografía 1-1: Ubicación de los agregados .....	19
Fotografía 1-2: Ubicación planta asfáltica.....	21
Fotografía 1-3: Mezclado de especímenes .....	23
Fotografía 1-4: Desmolde de briquetas .....	24
Fotografía 1-5: Ensayo estabilidad y flujo .....	24
Fotografía 1-6: Representación resultado estabilidad .....	25
Fotografía 1-7: Representación resultados de flujo.....	26
Fotografía 1-8: Medición de briquetas .....	27
Fotografía 1-9: Briquetas sumergidas .....	27
Fotografía 1-10: Mezcla disgregada.....	28
Fotografía 1-11: Extracción de vacíos.....	28
Fotografía 1-12: vidrio retenido tamiz 16.....	31
Fotografía 1-13: Vidrio pasante del tamiz 12.....	31
Fotografía 2-1: Tamizadora agregado grueso.....	34
Fotografía 2-2: esferas máquina de los ángeles.....	35
Fotografía 2-3: máquina de los ángeles.....	36
Fotografía 2-4: Sulfatos .....	37
Fotografía 2-5: Sulfatos .....	37
Fotografía 2-6: Mechero con copa Cleveland para ensayo .....	39

## Índice de Gráficas

Gráfica 1-1: Ciclo de reciclaje del vidrio .....	30
Gráfica 4-1: Curva de la mezcla.....	44
Gráfica 4-2: % de vacíos Vs % de asfalto .....	46
Gráfica 4-3: Resumen % de asfalto óptimo obtenido.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfica 4-4: Va % vs % de asfalto .....	47
Gráfica 6-1: Grav. Esp. Bulk VS % de vidrio molido.....	50
Gráfica 6-2: Estabilidad Vs % de vidrio molido .....	50
Gráfica 6-3: Flujo VS % de vidrio molido .....	51
Gráfica 6-4: % de vacíos Vs % de vidrio molido .....	51
Gráfica 6-5: % VAM vs % de vidrio molido.....	52
Gráfica 6-6: % VAF vs % de vidrio molido.....	52
Gráfica 7-1: Costo Vs % de vidrio molido .....	55

## Índice de Tablas

Tabla 2-1: Abertura tamices agregado grueso .....	32
Tabla 2-2: Abertura de tamices agregado fino .....	33
Tabla 2-3, Cantidad de material agregado grueso .....	33
Tabla 2-4: Numero de esferas a usas .....	35
Tabla 3-1: Resumen de resultados agregados .....	40
Tabla 3-2: Resumen características del asfalto.....	41
Tabla 4-1: Dosificación para las briquetas .....	43
Tabla 4-2: Calculo % óptimo .....	45
Tabla 4-3: Promedio de resultados mezcla original .....	46
Tabla 4-4: Resume del % asfalto óptimo requerido .....	47
Tabla 5-1: peso de vidrio adicionado a la mezcla .....	48
Tabla 5-2: Resultados promedio mezcla con vidrio molido.....	49
Tabla 6-1: Resultados porcentaje óptimo de vidrio.....	53
Tabla 7-1: Volúmenes de briquetas aproximadas .....	54
Tabla 7-2: Volumen de los materiales para los precios unitarios.....	54

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 4-1 .....	44
Ecuación 5-1 .....	48
Ecuación 7-1 .....	54

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco principalmente a Dios, que me dio la vida, y ha guiado cada paso que he dado a lo largo de toda mi vida especialmente ahora en esta carrera, sin soltarme ni dejándome sola, a mis padres, Freddy Freire y Janneth Alvear que han sido los pilares y mi apoyo en el día a día sin dejar que me dé por vencida, mis hermanos David Freire, y Diego Freire, que con cada broma, abrazo y sus palabras, me daban aliento cuando lo necesitaba, gracias familia por ser mi ejemplo y confiar en mí siempre.*

*Agradezco a Xavier Paredes, por su apoyo incondicional, su amor, cariño y paciencia conmigo a lo largo de toda la carrera, agradezco a mis amigos, Inés García, Andrés Pomboza; Jose Ortega, Natali Reinoso y todos los que formaron parte de esta grandiosa aventura y colocaron su granito de arena, los quiero a todos.*

*Gracias a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, facultad de ingeniería civil por la formación que me dieron cada día de la carrera, tanto intelectual como de valores morales y humanos.*

## *DEDICATORIA*

*Principalmente a Dios que sin él, no se lograría nada en este mundo y es la fuerza que ha guiado mi vida.*

*A mis padres Freddy Freire y Janneth Alvear, les dedico este logro que lo hicimos juntos papitos los amo mucho.*

*A mis hermanos David Freire y Diego Freire que siempre serán mi ejemplo y mi motivación.*

*A mi novio Xavier Paredes por todo el amor que me ha sabido dar día a día.*

*A todos mis amigos que fueron parte de esto y se convirtieron poco a poco en mi segunda familia.*

## **RESUMEN**

La presente investigación de disertación de la carrera de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, se la trabajo en el laboratorio de pavimentos, realizando una mezcla asfáltica con adición de vidrio molido, obteniendo resultados mecánicos y de costos para determinar si es factible la implementación de este método en nuestra realidad.

Esta investigación consta de:

Una breve introducción respecto al tema de pavimento flexible, y la importancia se investigar diferentes métodos de construcción que sean más afines con la naturaleza.

Descripción clara de los objetivos a determinar, justificación y explicación de la metodología que se procede a utilizar.

Capítulo 1. - Descripción de los agregados y asfalto, sus propiedades, características, descripción del lugar de donde se los obtuvo, ubicación.

Descripción de términos a utilizar en la investigación, tipos de pavimentos y su aplicación, método aplicado para la obtención del vidrio molido las características, explicación del método Marshall en el laboratorio.

Capítulo 2. - Descripción, objetivo, estándares según las normas correspondientes, de cada uno de los ensayos del laboratorio realizados en los agregados y en el asfalto, previo a la realización de las mezclas asfálticas en caliente.

Capítulo 3.- Resultados y cálculos obtenidos en el laboratorio, de cada uno de los ensayos realizados, con sus comparaciones según la norma correspondiente con cada uno de ellos.

Capítulo 4. - Realización de la mezcla asfáltica original obteniendo la curva de la dosificación, para la realización de cada muestra, por el método Marshall se obtendrá del porcentaje de asfalto óptimo requerido, determinando la estabilidad y flujo correspondiente a cada una de las muestras.

Capítulo 5. – Adición del vidrio molido en cada porcentaje requerido, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, determinando los resultados de estabilidad, flujo, contenido de vacíos, para realizar una comparación y análisis, en relación con los resultados obtenidos con la mezcla asfáltica original.

Capítulo 6. - Análisis gráfico de la variación de los resultados obtenidos de la mezcla original y mezcla alterada con vidrio molido, obteniendo la relaciones de, contenido de vacíos, estabilidad, flujo, porcentaje de vidrio.

Capítulo 7. – Análisis de costo por m<sup>2</sup> de la mezcla asfáltica original, en relación de la mezcla de vidrio molido, comprobando si resulta beneficioso en nuestro país.

Capítulo 8. – Conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada y basándose en todos los resultados obtenidos.

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador en los años 2007-2015, se realizó un avance notorio y considerable en lo que respecta vialidad y transporte, se mejoraron las carreteras, ampliándolas y dando mantenimiento a las que requerían, con propósito de ser considerado un país que conste con un sistema de vialidad global, el cual se logró, siendo el Ecuador en los años 2015-2016 considerado como uno de los mejores de calidad vial en América Latina, dándole así mayor competitividad y facilidad para el transporte de bienes y servicios, ayudando al desarrollo del país.

La parte ambiental en la construcción de una carretera es primaria, sin embargo la sociedad muchas veces se guía más por un deseo de satisfacer necesidades económicas y sociales, sin detenerse a pensar en el impacto ambiental que esto puede llegar a tener, se debe considerar el impacto ecológico que va a ocasionar una construcción vial nueva. Cuando se realiza el trazado de una carretera, la mayoría de las veces es necesario atravesar zonas naturales, en donde se va a ver afectado de manera irreversible en muchos de los casos su ecosistema, tener más alternativas como ampliaciones de vías existentes o mejoramientos, antes de crear por completo una nueva vía, son las principales soluciones a estas problemáticas sin embargo si la necesidad de una nueva vía es indispensable, se deben crear procesos constructivos que tomen en cuenta las 3R que es, reducir, reciclar y reutilizar, abriendo así un campo de estudio e investigación amplio para la aplicación de nuevas técnicas.

El mejoramiento vial de un país ayuda a su desarrollo económico y social, ya que abre puertas al comercio, a la seguridad ciudadana, etc., sin embargo actualmente lo que se busca conseguir es un desarrollo sustentable, el cual tiene como objetivo crear opciones que cuiden los recursos no renovables usándolos de manera responsable, y no acabarlos para generaciones futuras, se toma en cuenta la cantidad de contaminación que se produce el cual no debe exceder la capacidad que tiene el ambiente para procesar la misma y lograr mantener el equilibrio ecológico.

Las vías en el Ecuador son en un 75% de pavimento flexible, en el cual se utilizan materiales no renovables, se conoce que el pavimento es una mezcla asfáltica la cual consta de un 80% de agregados y el 20% de asfalto, los agregados provienen de fuentes naturales como, ríos, canteras, etc., por lo tanto lograr reducir el consumo de estos ayudaría a prevenir que en un futuro no se pueda contar con estos recursos, aplicando así

el concepto de desarrollo sostenible que ha tomado importancia en los últimos tiempos por el claro deterioro de nuestro planeta principalmente los efectos irreversibles que hemos provocado en nuestro ecosistema, por lo que el estudio de métodos ecológicos y amigables con el medio ambiente en lo que respecta a la vialidad del país son principalmente enfocados a este cemento asfáltico ya que es el más usado.

En el mundo ya existen diferentes investigaciones sobre pavimentos ecológicos los cuales principalmente se les ha mezclado con, caucho reciclado, plásticos, pavimento flexible reciclado, baterías pulverizadas, vidrio molido, y pavimentos que recolecten energía solar y calórica, etc., para aplicar estas investigaciones en el Ecuador, es necesario realizar ensayos con nuestros materiales, comprobando los cambios que se producen en comparación con el pavimento flexible original, brindando un análisis económico y de beneficios físicos y mecánicos del mismo.

El consumismo de nuestra sociedad ha venido en aumento, con el fin de aumentar las comodidades de cada persona, por lo cual se ve en la gran necesidad de intervenir con diferentes métodos de reciclaje, en el campo de la ingeniería civil podrían existir diversos métodos para reciclar, ya que existe un gran desperdicio de materiales en la construcción, como por ejemplo, la madera, vidrio, los desechos de pavimentos que se retiran, cemento, agregados pétreos, etc. Por lo que solo con un poco de ingenio e innovaciones, se pueden crear métodos de construcción en los cuales no solo nos basamos en cumplir con los requerimientos solicitados, sino también que se realicen trabajos en donde se reutilicen materiales ya existentes. El vidrio es un material que se lo puede reutilizar, y se lo encuentra con mucha facilidad, ya que lo tenemos en desechos de ventanas, bombillas, cerámicas, etc., y con ayuda de otros materiales lo podemos reusar en construcciones, en este caso en lo que se refiere a carreteras se lo puede utilizar como material fino en una mezcla asfáltica ya que no pincha ni desgasta a las llantas de los vehículos, y brinda mayor estabilidad a la mezcla.

## **ANTECEDENTES**

En el proceso de formación de la carrera de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, se han estudiado diferentes temas en cada material tomada, entre estas tenemos la materia de laboratorio de pavimentos y diseño de pavimentos en donde se nos ha dado las diferentes herramientas relacionadas con carreteras, sus diseños, ensayos etc., para aplicar a la presente investigación.

A lo largo de los dos cursos previamente mencionados se realizaron diferentes investigaciones como tareas didácticas, en dichas investigaciones se encontraron nuevas formas constructivas, nuevos materiales e innovaciones para el diseño y construcción de pavimentos dándome así el deseo de llevar una investigación de clase a una investigación más profunda, con un material como el vidrio molido, para conocer sus beneficios y desventajas del mismo, comprobando su eficiencia y posibilidad de su implementación con vidrio molido en una mezcla asfáltica en nuestro país, esto ya se lo ha venido probando en otros países especialmente España.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Utilizar vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación

### **Objetivos específicos**

- Analizar los cambios mecánicos que se producen en la mezcla asfáltica con el uso del vidrio molido.
- Realizar un análisis de costos para comprobar si se lo puede emplear en nuestra realidad
- Determinar el porcentaje de vidrio molido óptimo que se puede utilizar en la mezcla asfáltica

## **JUSTIFICACIÓN**

La construcción o mantenimiento vial es una acción que va a seguir a lo largo de los tiempos, esta actividad muchas veces afecta a la naturaleza, y sabiendo que en la actualidad para que un país tenga un buen desarrollo es necesario un desarrollo sustentable en donde no solo se obtengan beneficios económicos sino tan una conciencia ecológica.

En el Ecuador la implementación de métodos constructivos amigables con el ambiente, no se lo ha tomado con la seriedad que lo requiere ya que en el momento de analizar los costos si un método más ecológico resulta más costoso lo importante se vuelve la economía mas no el bien ecológico que se puede provocar. Con el fin de dar un método ecológico y al mismo tiempo que no atente con el presupuesto se a realizado esta disertación en la cual se investigara no solo los beneficios físicos sino también el económico.

## **ALCANCE**

La presente investigación se va a realizar con el fin de que se pueda aplicar como un método más ecológico que sea amigable con el medio ambiente, en mezclas asfálticas, siendo así que se logre disminuir el uso de agregado fino y reutilizar el vidrio, en esta investigación seria solo el vidrio de botellas.

El tiempo de duración de esta investigación es aproximadamente de seis meses, tiempo en el cual se va a obtener como resultado final, el diseño de una mezcla asfáltica con vidrio molido, teniendo una comparación de características mecánicas y costos con la mezcla convencional.

## **METODOLOGÍA**

La investigación abarca desde la caracterización de los materiales, diseño y estudio de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con vidrio molido.

Para llegar a obtener la mezcla óptima se procedió de la siguiente manera:

1. Obtención de los materiales, el agregado fue traído de Holcim, y el asfalto de la planta Naranjo.
2. Determinar las características y propiedades de los agregados que se utilizaron realizando los ensayos correspondientes:
  - Granulometría
  - Equivalente de arena
  - Desgaste de los agregados debido a la presencia de sulfatos
  - Gravedad específica y absorción
  - Desgaste del agregados gruesos en la máquina de los ángeles (Abrasión)
3. Determinar las características y propiedades del asfalto a usar, realizando ensayos que determinan si cumple con las normas o no, para realizar el diseño de nuestras mezclas:
  - Punto de chispa
  - Penetración
  - Punto de ablandamiento
  - Ductilidad
  - Viscosidad
  - Gravedad específica del asfalto
4. Se diseñó una mezcla asfáltica convencional sin ninguna adición de vidrio molido por el Método Marshall.
5. Se realizó 6 diseños de; 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15% de adición de vidrio molido en la mezcla asfáltica, obtención de los resultados por el Método Marshall
6. Comparación de los resultados con la mezcla original y con adición de vidrio.
7. Comparación de costos con una mezcla común y modificada.

## **1. CAPITULO 1: Marco teórico**

### **Agregados**

#### **1.1.1. Generalidades**

Para el pavimentos es importante los agregados a los que se lo llama en este campo “agregados pétreos”, este conjunto está conformado de rocas trituradas, arena que se obtiene de la trituración de rocas o de la desintegración natural de las mismas, grava, arcillas, etc., se debe realizar un análisis del tamaño nominal de las partículas del material que se va a utilizar con la ayuda del ensayo de granulometría, ya que en una mezcla asfáltica el contenido de agregados va entre un 88-96% y en su volumen en un 75%.

Cuando se trabaja con mezclas asfálticas es importante realizar la caracterización de estos materiales para determinar si cumple con la calidad requerida, ya que estos son los que van a resistir las cargas vehiculares que va a ser sometido el pavimento, y deben cumplir de manera eficaz para que transmitan estas cargas a las capas subyacentes. Si al momento de calificar nuestro material no lo hacemos con la importancia del caso esta dará como resultado que nuestro pavimento sufra de fallas tempranas a lo largo de su vida útil, se puede dar hundimientos, a fatiga, grietas, y daño por la humedad que puede entrar en el mismo.

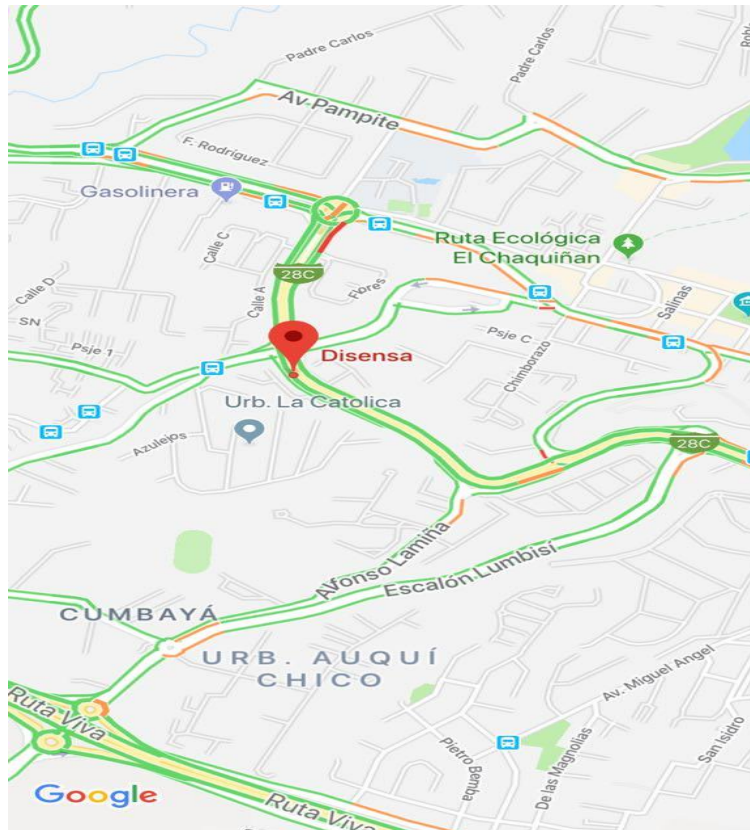
En las mezclas asfálticas no se recomienda utilizar material mayor a  $\frac{3}{4}$ , ya que la mezcla puede volverse muy abierta, o de lo contrario si se utiliza demasiado agregado fino se vuelve muy rígida, es esta la razón por la que se debe determinar con precisión el porcentaje de cada agregado.

#### **1.1.2. Ubicación de la obtención de los agregados**

El agregado fue obtenido de Holcim, es una empresa internacional que trabaja en el Ecuador desde 2004, los productos que comercializa es, cemento, agregados, concreto, los cuales cumplen con los estándares de calidad requeridos para la construcción, esta empresa se encarga de distribuir a diferentes lugares para comercializar sus productos, la adquisición del agregado para la investigación fue en Disensa Cumbaya, que esta autorizado a comercializar este material.

Dirección: Av. Interoceánica Km 4,5 Aguilar y Herrera Cia Ltda Local 2, Miravalle, Quito 170157

Fuente: Google Maps



Fotografía 1-1: Ubicación de los agregados

## 1.2. Cemento Asfáltico

### 1.2.1. Generalidades

El cemento asfáltico utilizado en esta investigación proviene de la refinería de Esmeraldas, este cemento asfáltico se lo puede obtener de la destilación de crudo o de manera natural, después de obtenerlo pasa a un proceso de refinamiento para que este pueda cumplir con las especificaciones AASSTHO para la realización de mezclas asfálticas.

Es un material sólido o semisólido que se lo debe calentar para que sea manejable, su constitución principal es betún que se encuentra principalmente en la naturaleza y los demás que se obtiene por refinamiento del crudo.

Es importante que cuando se trabaja con asfalto, se realicen pruebas de laboratorio constantemente para determinar si este se encuentra dentro de los estándares de la

normas para poderlo emplearlo, esta verificación se realiza en plantas asfálticas, en los carros-tanque, y cuando sale de la refinería, principalmente se debe realizar las pruebas de gravedad específica y de consistencia.

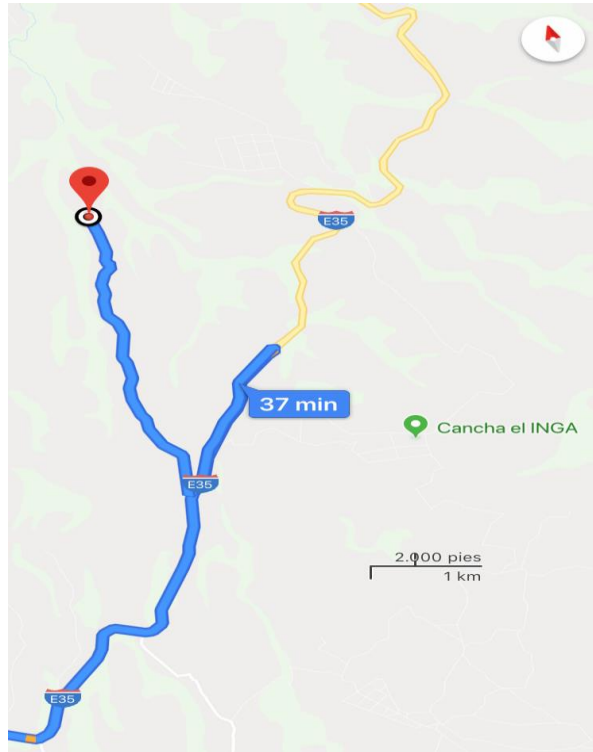
### **1.2.2. Características**

- El asfalto es un material impermeable, por lo que se lo utiliza principalmente en el diseño de pavimento, para evitar la filtración de agua y de humedad, y prevenir así las grietas que se producen en las vías.
- El asfalto tiene la característica de adherencia y cohesión, por lo cual se lo utiliza para mezclarlo con los agregados pétreos, en donde forman una mezcla asfáltica resistente a las cargas vehiculares y al desgaste que producen estas, ayudan a aumentar la capacidad portante de estas superficies.
- Puede ser utilizado también para la impermeabilización de techos.

### **1.2.3. Ubicación de la planta asfáltica**

La planta asfáltica de la que obtuvimos nuestro asfalto se llama ‘Planta Asfáltica Naranjo López’, la cual está ubicada Ruta Viva, vía Pifo, cerca al botadero el Inga.

Este asfalto es proveniente de la refinería Esmeraldas, la cual ha funcionado desde 1979, a lo largo del tiempo se ha ido ampliando la capacidad de producción de crudo en esta refinería es aproximadamente 10 mil barriles de crudo diarios.



Fotografía 1-2: Ubicación planta asfáltica

### 1.3.Pavimentos

La construcción de carreteras tiene varias alternativas como; pavimento flexible, pavimento rígido, adoquinado entre otros y la elección de uno de ellos como método constructivo dependerá de, tipo de carga, el tipo de suelo con el que se va a trabajar, la facilidad de acceso a los materiales, el tipo de trazado de la carretera entre otros aspectos a tomar en cuenta.

#### 1.3.1. Pavimento rígido

El pavimento rígido se conforma por losa de concretos que serán colocadas sobre la subrasante, se dejara aberturas entre cada losa, para evitar que existan grietas al momento de que el hormigón se expanda o contraiga por la temperatura o cuando sean aplicadas las cargas.

El costo inicial de este pavimento es mayor que el de un pavimento flexible, este distribuye de manera uniforme sobre la losa, no con cargas puntuales como en el rígido las cargas a las que va a ser sometida la vía.

Tiene mayor duración este pavimento y el costo de su mantenimiento es menor, no se lo puede colocar en lugares donde cambie de manera drástica la geometría de la vía.

### **1.3.2. Pavimento flexible**

Es un pavimento conformado por diferentes capas, subrasante, sub-base, capa de rodadura la cual se conforma de agregados granulares y material bituminoso, existen para esta capa mezclas en frío y caliente.

La distribución de carga en este material es de cargas puntuales, que se van a distribuir en las capas siguientes para resistir de mejor manera. Este pavimento tiene un menor costo al inicio sin embargo el costo de mantenimiento es alto.

Del material bituminoso que se utiliza ayuda con la impermeabilidad del pavimento, esta característica es importante ya que el agua si no se filtra produce hundimientos, grietas y en ocasiones peligro de accidentes si el agua se empoza en las carreteras, otra característica es la adherencia con los agregados para que existan menos espacios intersticiales.

### **1.3.3. Adoquinado y otros**

El adoquinado vial no es un método que se utilice para lugares de alto tráfico ya que su resistencia a las cargas no es muy alta sin embargo este es muy común utilizarlo en zonas residenciales, parques, pasajes entre otros.

Otros tipos de pavimentos son los empedrados, de tierra, y el que solo se le coloca una pequeña capa de piedras pequeñas para mejorar su aspecto sin embargo estos se los ve más en vías antiguas u en lugares donde aún no llegan los recursos económicos necesarios

## **1.4. Método Marshall**

Norma: ASTM 1559

El método Marshall fue determinado por Bruce Marshall, este método es muy utilizado en los laboratorios para verificar la resistencia de las mezclas asfálticas, por ser más económico y fácil de obtener los resultados los cuales se componen de otros ensayos en

donde se va a determinar la gravedad específica Bulk, el contenido de vacíos, luego si se procede a utilizar el equipo Marshall en el cual se ensayan las briquetas para determinar su estabilidad flujo, con todos esto, se determina la cantidad optima de asfalto necesario para la mezcla asfáltica, este resultado también dependerá del tipo de material y sus características. En mezclas y diseñadas ayuda a determinar si resisten o no y si las cantidades de materiales utilizados son los correctos.



**Fotografía 1-3: Mezclado de especímenes**



**Fotografía 1-4: Desmolde de briquetas**



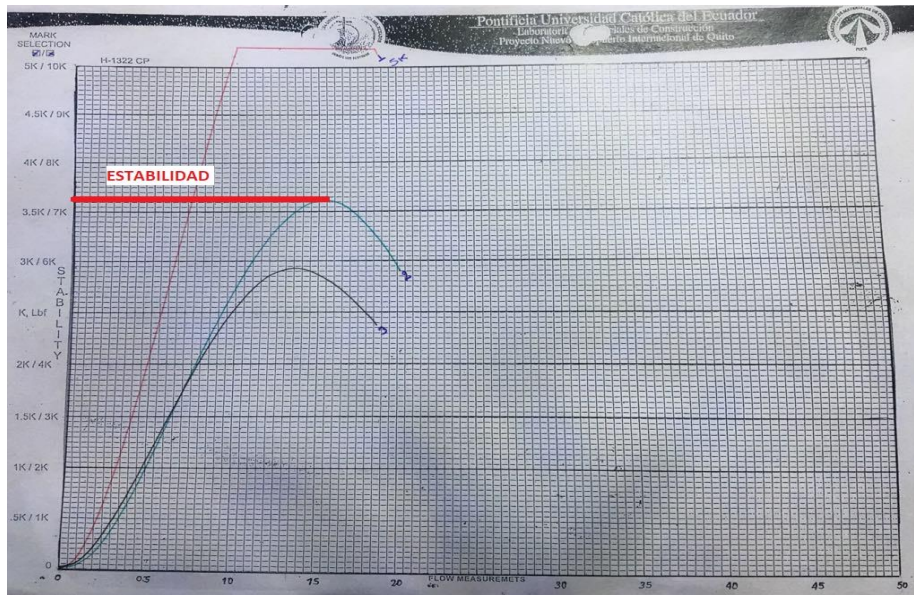
**Fotografía 1-5: Ensayo estabilidad y flujo**

Los datos obtenidos serán analizados de manera algebraica y grafica para la determinación de su porcentaje de asfalto real, el cual cumpla con todos los parámetros requeridos en lo que respecta volumen de vacíos, estabilidad y flujo.

### 1.4.1. Estabilidad

La determinación de estabilidad en el método Marshall se refiere a la resistencia en kg o lb que va a tener el espécimen.

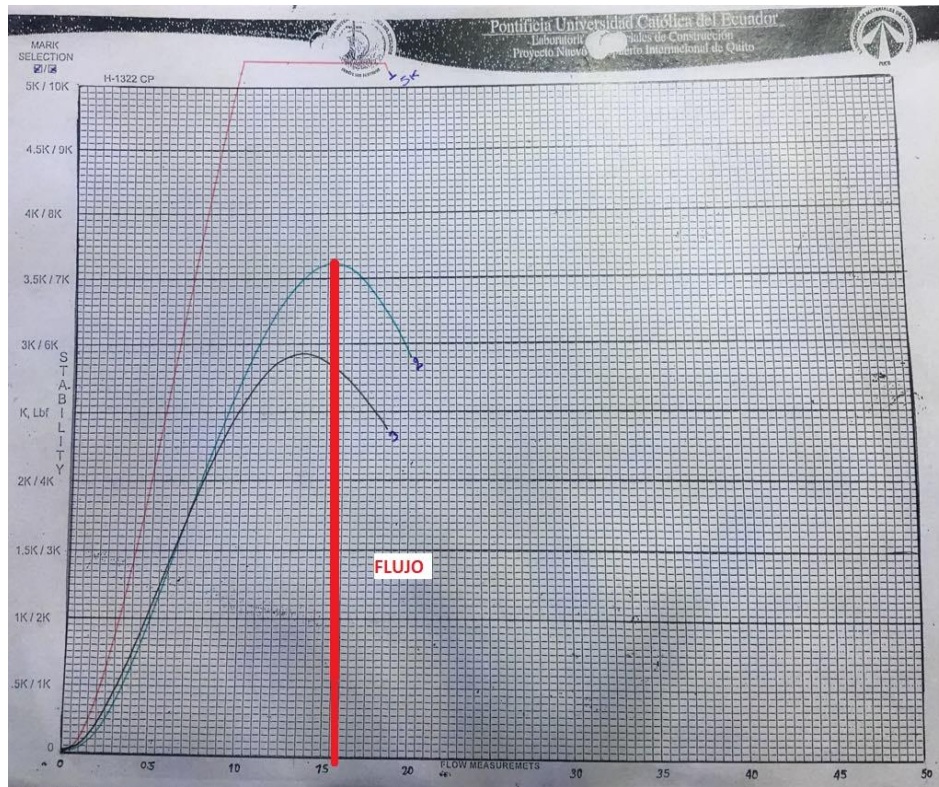
Esto se determina en cada briqueta, las cuales previamente son colocadas a un baño maría a 60°C durante 30 minutos, se seca la superficie y se coloca la muestra en el equipo en donde será sometida a una carga hasta que falle, y se determina cual es el valor en kg o lb que resiste.



Fotografía 1-6: Representación resultado estabilidad

### 1.4.2. Flujo

La determinación del flujo, es en otras palabras la deformación que sufre la briqueta desde el primer momento que se aplica la carga hasta el final.



Fotografía 1-7: Representación resultados de flujo

### 1.4.3. Gravedad específica Bulk

La gravedad específica Bulk se determina luego de dejar enfriar las briquetas, estas serán limpiadas los bordes y lados con ayuda de cepillos, se tomara las medidas de espesor y ancho. Se tomara los pesos secos, sumergidos en agua, el agua deberá estar a una temperatura de 25°C, el peso saturadas con superficie seca. Con estos valores se determinara su gravedad bulk.



**Fotografía 1-8: Medición de briquetas**



**Fotografía 1-9: Briquetas sumergidas**

#### **1.4.4. Rice**

Nos ayuda a determinar el contenido de vacíos de la mezcla, en donde se realizan 2 mezclas de cada porcentaje que tenemos esto es para tener un promedio, se dejara enfriar la mezcla moviéndola para que no se hagan bolas y el material este regado sin acumulaciones de material.

Se coloca el material frio en el molde específico para el ensayo, colocar agua y colocar en el equipo rice para que saque el aire, llenar el molde de agua a 25°C sellar con la tapa y pesar.



**Fotografía 1-10: Mezcla disgregada**



**Fotografía 1-11: Extracción de vacíos**

## **1.5. Vidrio**

### **1.5.1. Generalidades**

El vidrio es un material cerámico no cristalino, que existe desde muchas décadas atrás, no se tiene certeza de quien lo descubrió ni el tiempo exacto pero se sabe de su existencia antes de Cristo. Su composición básica es; sílice que se encuentra en la arena o cuarzo en un 70%, está es la materia prima del vidrio; carbonato de sodio, cal, y otras sustancias que ayudan a la resistencia del vidrio a temperaturas altas. Dependiendo del

propósito en el cual se va a utilizar el vidrio, va a depender la pureza de los materiales de esto se encargan las diferentes empresas procesadoras de vidrio.

En los últimos tiempos, el uso de vidrio en la vida cotidiana ha ido en aumento, ya que a éste se le ha dado diferentes usos como por ejemplo, botellas, bombillas, ventanas, cerámicas etc., siendo esto causa de gran cantidad de material a ser reciclado. Este material tiene la cualidad de que se puede reciclar el 100% del mismo.

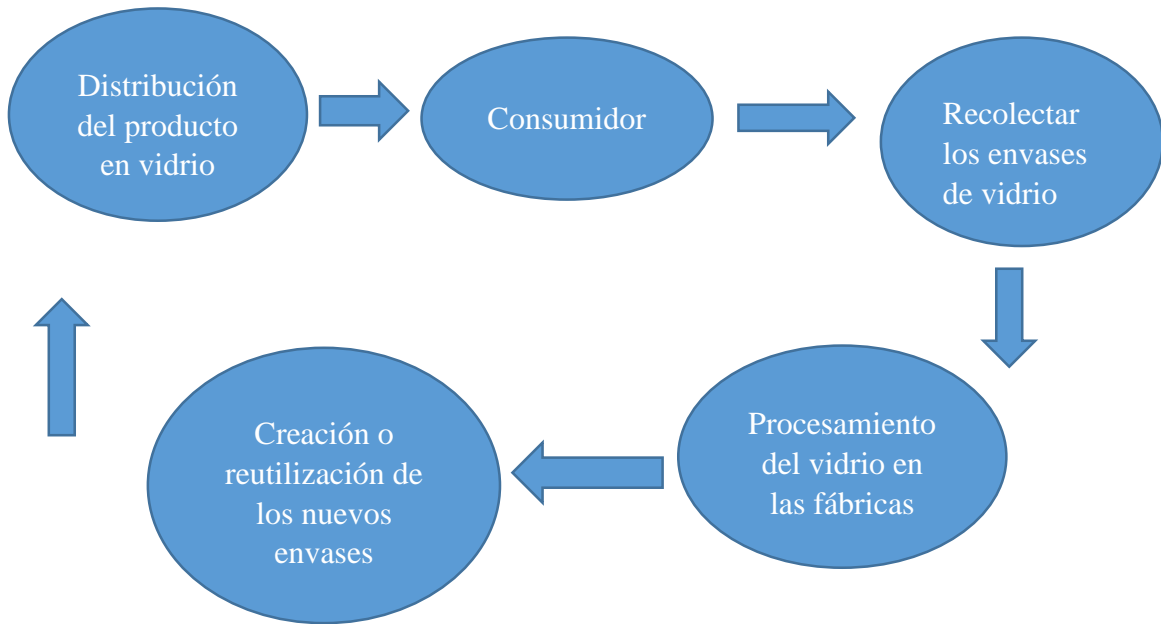
### **1.5.2. Propiedades**

- El vidrio es un material frágil por su poca capacidad de absorber energía, por lo cual para medir su dureza se aplica presión en su superficie con cuidado ya que se generan grietas con mucha facilidad.
- Su transparencia óptica y la fácil obtención de componentes de vidrio son principales propiedades de este.
- Es un material sensible a la temperatura, se vuelve más viscosa a medida que su temperatura baja, su solidificación es en temperaturas bajas.
- El volumen específico del vidrio es directamente proporcional a la temperatura, a menor temperatura el volumen baja, a mayor temperatura el volumen sube.

### **1.5.3. Vidrio reciclado**

Existen diferentes opciones para reciclar el vidrio, ya que este se le utiliza en diferentes cosas como, botellas, vidrios, cerámicas, bombillos, etc., pero nosotros nos enfocaremos principalmente en las botellas plásticas. La manera común de reciclar es recolectando en nuestros hogares estos envases y depositándolos en los contenedores correspondientes, luego estos son transportados a las fábricas en donde se encargan de separar el vidrio por colores, especialmente en tres colores que son: verde, transparente y ámbar, se proceden a triturarlos si es necesario para crear un nuevo envase, o de lo contrario si se va a utilizar el mismo envase se realizara a un tratamiento químico el cual se encargara de limpiar todo tipo de impurezas que puedan estar en el envase.

Se puede decir que el reciclaje del vidrio tiene el siguiente proceso:



**Gráfica 1-1: Ciclo de reciclaje del vidrio**

El vidrio es un material que se puede llegar a reciclar el 100% del mismo, con esto aparte de reducir el uso de la materia prima para crear el vidrio que es arena, cuarzo, etc., nos ayuda a reducir el consumo de energía en un 30 a 40%.

#### **1.5.4. Obtención del vidrio molido reciclado**

El reciclaje se lo hizo recolectando botellas de vidrio como por ejemplo de; cerveza, bebidas hidratantes (GATORADE), jugos, etc. Estos envases se los dejo en el sol para secar su contenido por completo, después se sacaron las etiquetas y se comenzó a triturar el vidrio. Este proceso se lo realizo de manera artesanal utilizando herramientas como, combos, molinos pequeños, tarros de metal, costales etc.

- Primero se rompieron las botellas que fueron aproximadamente 30 dentro de costales dándoles golpes contra el suelo.
- Se realizó un segundo filtro en el cual dentro de los costales se dieron golpes con combos para obtener un vidrio más pequeño que sea más manejable y entre en el molino.
- Se compró un molino de casa el cual se utiliza para moler chochos, entre otras cosas y se lo utilizo para triturar los trozos de vidrios obtenidos

previamente, esto nos dio resultados positivos ya que obtuvimos el tamaño de vidrio requerido para nuestra investigación que era de 1,19 mm por el tamiz N° 16 colocar este en la mezcla asfáltica como agregado fino.



**Fotografía 1-12: vidrio retenido tamiz 16**



**Fotografía 1-13: Vidrio pasante del tamiz 12**

## 2. CAPITULO 2: Ensayos del laboratorio

### 2.1. Ensayo de los agregados

#### 2.1.1. Granulometría

Normas: ASTM C 136-09, AASHTO T-27, INEN 696

Objetivo:

Determinar la curva granulometría de los agregados mediante un proceso de clasificación de nuestro agregado por su tamaño nominal.

Tamices utilizados en el ensayo para agregado grueso y fino.

**Tabla 2-1: Abertura tamices agregado grueso**

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura</b>
1,5"	38,1 mm
1"	25,4 mm
3/4"	19 mm
1/2"	12,7 mm
3/8"	9,51 mm
4"	4,76 mm
Pasante de 4	

*Fuente: Manual visualizado materiales de la construcción. (Lauro Lara)*

**Tabla 2-2: Abertura de tamices agregado fino**

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura</b>
4"	4,76 mm
8"	2,36 mm
16"	1,190 mm
30"	0,595 mm
50"	0,297 mm
100"	0,142 mm
200"	0,075 mm
Pasante de 200	

*Fuente: Manual visualizado materiales de la construcción. (Lauro Lara)*

**Tabla 2-3, Cantidad de material agregado grueso**

<b>Tamaño máximo nominal Tamices</b>	<b>Masa mínima Kg</b>
2,5"	1,0
2"	2,0
1,5"	5,0
1"	10,0
3/4"	15,0
1/2"	20,0
3/8"	35,0

*Fuente: Manual visualizado materiales de la construcción. (Lauro Lara)*



**Fotografía 2-1: Tamizadora agregado grueso**

### **2.1.2. Equivalente de arena**

Normas: AASHTO T-176, MOP E 108, ASTM D 2419-09

Objetivo:

Ayuda a determinar, qué cantidad de polvo o material malo se tiene en la muestra de agregados finos y arena.

### **2.1.3. Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los ángeles**

Normas: ASTM C 131-09, AASHTO T-96, INEN 860-861

Objetivo:

Este determina la resistencia a la fractura que tiene nuestro material, por medio del desgaste y la fricción entre partículas.

**Tabla 2-4: Numero de esferas a usas**

Nº de esferas	Tipo según si gradación
12	A
11	B
18	C
6	D

*Fuente: Manual visualizado materiales de la construcción. (Lauro Lara)*



**Fotografía 2-2: esferas máquina de los ángeles**



**Fotografía 2-3: máquina de los ángeles**

#### **2.1.4. Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio**

Normas: ASTM C88-09, AASHTO T-104, INEN 163

Objetivo:

Determinar el comportamiento de nuestro material en la intemperie, para determinar su se desintegrara.



**Fotografía 2-4: Sulfatos**



**Fotografía 2-5: Sulfatos**

### **2.1.5. Gravedad específica y absorción**

Normas: ASTM C29

Objetivo

Sirve para determinar las diferentes gravedades que van a ser requeridas, gravedad Bulk, gravedad específica, gravedad aparente, y absorción de los agregados gruesos y finos.

## **2.2. Ensayo del asfalto**

### **2.2.1. Ductilidad**

Norma: ASTM D113-07

Objetivo:

El ensayo de ductilidad nos ayuda a determinar si nuestro asfalto en su vida útil va a resistir las diferentes cargas a las que será sometido, o al cambio de temperaturas, para evitar que se produzcan fisuramientos, ya que la ductilidad es la capacidad que tiene un material para deformarse y volver a su estado original después de ser sometido a una fuerza.

### **2.2.2. Penetración**

Normas: ASTM D5/D5 M-13

Objetivo:

La penetración en el material bituminoso, determina como fluye el material en condiciones conocidas, mediante una aguja.

### **2.2.3. Punto de Chispa**

**Normas: ASTM D92 -12B**

Objetivo:

Punto de chispa es un ensayo en el cual se determina la temperatura máxima del asfalto que no sea inflamable, también se lo determina para ver las temperatura a la que se envejecerá, se debe tomar en cuenta esta temperatura por seguridad, ya que pasando esta se produce un fenómeno en el cual empieza a saltar el asfalto como el efecto de agua y aceite.



**Fotografía 2-6: Mechero con copa Cleveland para ensayo**

#### **2.2.4. Punto de ablandamiento**

Normas: ASTM D36/D36M

Objetivo:

Punto de ablandamiento es un ensayo que tiene como objetivo, determinar la temperatura a la cual el asfalto comienza a fluir, para evitar que en el tiempo de vida útil de la mezcla llegue a experimentar esta temperatura, ya que se puede provocar que se vuelva la mezcla menos rígida.

#### **2.2.5. Viscosidad**

Normas: ASTM D4402/D4402M

Objetivo:

Los ensayos de viscosidad nos ayudan a determinar la temperatura de mezclado y de compactación, ya que se sabe que la viscosidad es la capacidad de fluir de un fluido en una superficie, a mayor temperatura la viscosidad el asfalto es menor.

### 3. CAPITULO 3: Cálculos y Resultados de la caracterización de los materiales

#### 3.1. Resumen de resultados de los agregados con sus respectivas normativas

En el siguiente cuadro se presenta los resultados obtenidos y se realiza la comparación requerida con la norma MOP-001F-2002

Tabla 3-1: Resumen de resultados agregados

Material	Ensayos	Unidades	Resultados	Limites referenciales Mop-001F-2002		Cumple
				min	max	
Agregado Grueso	Abrasión	%	33,8	-	50	SI
	Resistencia a los sulfatos	%	2,16	-	12	SI
	Gravedad especifica Bulk	gr/cm3	2,4105	-	-	
	Gravedad especifica saturada con superficie seca	gr/cm3	2,4963	-	-	
	Gravedad especifica aparente	gr/cm3	2,6367	-	-	
	Absorción	%	3,5589	-	-	
Agregado fino	Equivalente de arena	%	65	50	-	SI
	Resistencia a los sulfatos	%	9,3	-	12	SI
	Gravedad especifica Bulk	gr/cm3	2,259	-	-	
	Gravedad especifica saturada con superficie seca	gr/cm3	2,371	-	-	
	Gravedad especifica aparente	gr/cm3	2,5432	-	-	
	Absorción	%	4,938	-	-	
Arena	Equivalente de arena		64,5	50	-	SI
	Gravedad especifica Bulk	gr/cm3	2,5867	-	-	
	Gravedad especifica saturada con superficie seca	gr/cm3	2,6332	-	-	
	Gravedad especifica aparente	gr/cm3	2,713	-	-	
	Absorción	%	1,8	-	-	

Notas:

- Según la Tabla 4 y el tipo de distribución granulométrica obtenida, la gradación del material es Tipo B, por lo que es necesario colocar 11 esferas en la máquina de los ángeles, cada esfera pesa aproximadamente 420gr.
- La cantidad de material que es necesario para este el Tipo B, es de 2500gr de tamiz 3/8 y 1/2.

### 3.2. Resumen de resultados del asfalto

Realizando una comparación con la norma MOP-001F-2002, y los resultados obtenidos en el laboratorio tenemos el siguiente cuadro de resumen:

**Tabla 3-2: Resumen características del asfalto**

Ensayos	Unidades	Resultados	Límites referenciales AC 20/ Mop2002		Cumple
			min	max	
Ductilidad a 25 °C	cm	54	50	-	SI
Penetración		76	60	-	SI
Gravedad específica 25 °C	kg/m <sup>3</sup>	1006,701	99	-	SI
Punto de inflamación	°C	325	232	-	SI
Punto de ablandamiento		49,9			SI
Cambio de masa	% w/w	0,043	-	1	SI
Viscosidad 60°C	Pa s	782,486	-	800	SI
Viscosidad Absoluta 60°C	Pa s	209,936	160	240	SI
Viscosidad Cinemática	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	389,043	300		SI

#### **4. CAPITULO 4: Mezcla asfáltica original – Método Marshall**

En este capítulo se explicara cómo se saca el porcentaje óptimo real del asfalto que se va a utilizar en la investigación con el vidrio molido. Estos resultados se obtienen a partir de 15 briquetas que se ensayaran las mismas q tendrán diferentes porcentajes de asfalto de 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% como se decide estos porcentajes se explica en la siguiente sección 4.1.

Al obtener la gravedad especifica bulk, el VAM, VA, VAF, la estabilidad y flujo, se realizan graficas de comparación y de análisis para determinar cuál es el mejor porcentaje de asfalto con el que se debe trabajar, para esta determinación usaremos es método de estabilidad y flujo Marshall.

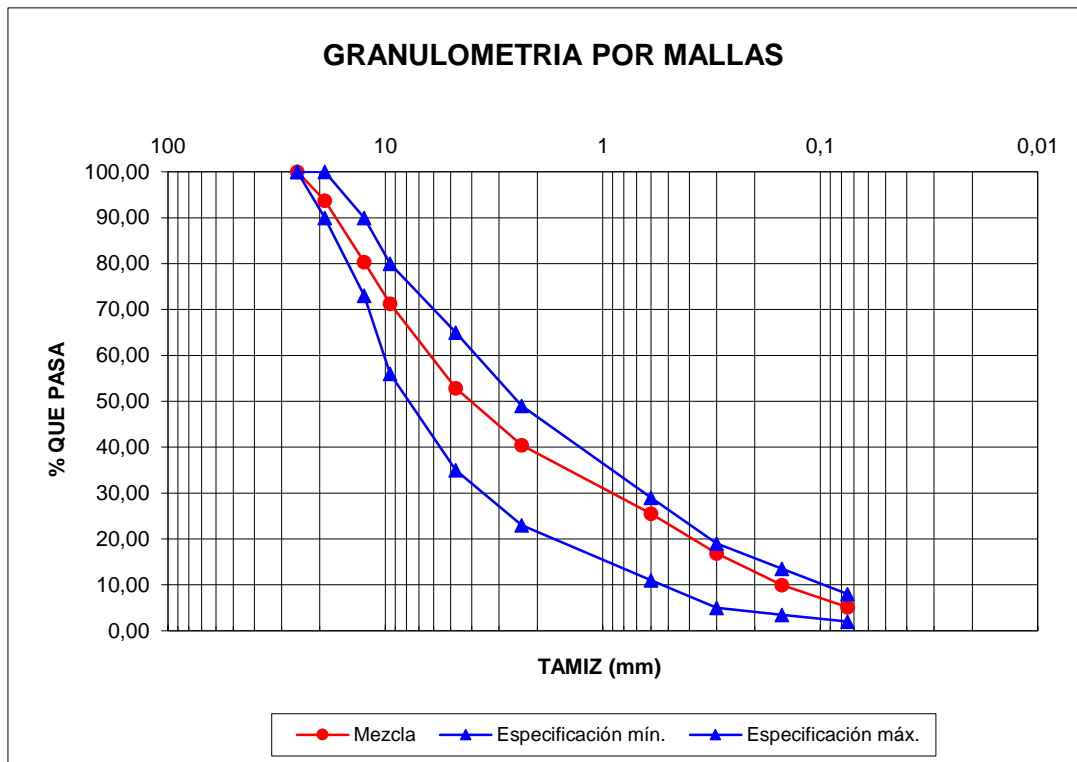
##### **4.1.Dosificación de la mezcla**

Después de obtener las curvas granulométricas de cada material estas se las unirá para crear la curva de la mezcla como se muestra en el siguiente cuadro.

**Tabla 4-1: Dosificación para las briquetas**

<b>Pontificia Universidad Católica del Ecuador</b>																										
<b>AREA DE PAVIMENTOS</b>																										
Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236																										
OBRA:	TESIS					SOLICITA: Nicol Freire																				
MUESTRA:	Agregados Holcin - Pifo																									
RECEPCION:	Mezcla para briquetas					FECHA 01/02/2018																				
<b>MEZCLAS DE AGREGADOS</b>																										
<b>Tamiz #</b>	<b>1</b>	<b>3,4</b>	<b>1,2</b>	<b>3,8</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>p #200</b>															
<b>Tz mm.</b>	<b>25,4</b>	<b>19</b>	<b>12,5</b>	<b>9,5</b>	<b>4,75</b>	<b>2,36</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,15</b>	<b>0,075</b>	<b>p 0,075</b>															
mat. A	100,00	87,50	60,66	42,54	9,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																
mat. B	100,00	100,00	100,00	100,00	93,57	69,68	40,89	28,48	19,45	11,94																
mat. C	100,00	100,00	100,00	100,00	99,84	97,72	66,07	41,76	20,55	7,67																
mat. D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																
<b>mezcla</b>	<b>100,00</b>	<b>93,75</b>	<b>80,33</b>	<b>71,27</b>	<b>52,89</b>	<b>40,45</b>	<b>25,48</b>	<b>16,90</b>	<b>9,95</b>	<b>5,12</b>																
Ret.Ac.	0,00	6,25	19,67	28,73	47,11	59,55	74,52	83,10	90,05	94,88	5,12															
Ret.Parc.	0,00	6,25	13,42	9,06	18,38	12,44	14,97	8,58	6,95	4,83																
peso	0,00	68,73	147,64	99,67	202,18	136,85	164,63	94,41	76,47	53,11																
p. acum.	0,00	68,73	216,37	316,05	518,23	655,09	819,72	914,13	990,60	1043,71	1100,00															
<b>Espec mín</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>---</b>	<b>56</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>---</b>	<b>5</b>	<b>---</b>	<b>2</b>																
<b>Espec máx</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>---</b>	<b>80</b>	<b>65</b>	<b>49</b>	<b>---</b>	<b>19</b>	<b>---</b>	<b>8</b>																
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">% DE MEZCLA</th> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0,50</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0,30</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0,20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>												% DE MEZCLA			A	0,50	50	B	0,30	30	C	0,20	20	D	0	0
% DE MEZCLA																										
A	0,50	50																								
B	0,30	30																								
C	0,20	20																								
D	0	0																								
<b>Observación:</b>	Material A = Material Grueso																									
	Material B = Material Intermedio																									
	Material C = Material Fino																									
	Especificaciones MOP - 001 - f Tabla 405.5.1 "3/4"																									

Fuente: Asfalto optimo programa, (Gustavo Yáñez)



**Gráfica 4-1: Curva de la mezcla**

Es importante que la línea curva de la mezcla se encuentre en la mitad de la especificación mínima y máxima de agregado, como se ve en la (gráfica 5), es se obtiene con los diferentes porcentajes de cada material que va a tener nuestra mezcla.

#### 4.2. Porcentaje óptimo de asfalto aparente descripción

Con los datos de la granulometría de cada agregado se obtiene el porcentaje óptimo aparente del asfalto, de este se partirá para determinar el porcentaje de asfalto óptimo verdadero.

$$P = M * S^{\frac{1}{5}}$$

**Ecuación 4-1**

Donde:

S = superficie específica de los áridos

P = porcentaje óptimo de asfalto

M = coeficiente de tráfico (3,75 – 4,25). (Mop\_001\_f\_2002)

**Tabla 4-2: Calculo % óptimo**

<b>S =</b>	9,25878	<b>P (%) =</b>	<b>6,24</b>
	<b>% óptimo de asfalto</b>		<b>6</b>

Nota:

- En el método Marshall para poder obtener el verdadero % de asfalto óptimo se debe realizar 15 briquetas las cuales cada 3 de ellas van a tener un diferente % de asfalto, en este caso desde el 6% de obtuvimos como porcentaje optimo aparente se reducirá un 1% para abajo y 1% para arriba entonces las briquetas tendrán 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% respectivamente.
- Cada briqueta deberá contener 1100gr de agregado según la dosificación obtenida esta se mantendrá para toda la investigación.

### **4.3. Resultados del ensayo Marshall con la mezcla original**

#### **4.3.1. Volumen de vacíos**

El porcentaje de vacíos de la mezcla, son los pequeños espacios de aire que existe entre las partículas de los agregados. (Institute, 1997).

onde:

#### **4.3.2. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral**

Es el porcentaje de vacíos que se forman entre las partículas del agregado compactado con el porcentaje de asfalto, se utiliza la gravedad específica bulk de los agregados y de la mezcla. (Institute, 1997)

#### **4.3.3. Porcentaje de vacíos cubiertos con asfalto**

El (VAM) de una mezcla que va a ser cubierta por asfalto es lo q se le determina al porcentaje de vacíos cubierto por asfalto (VAF). (Institute, 1997).

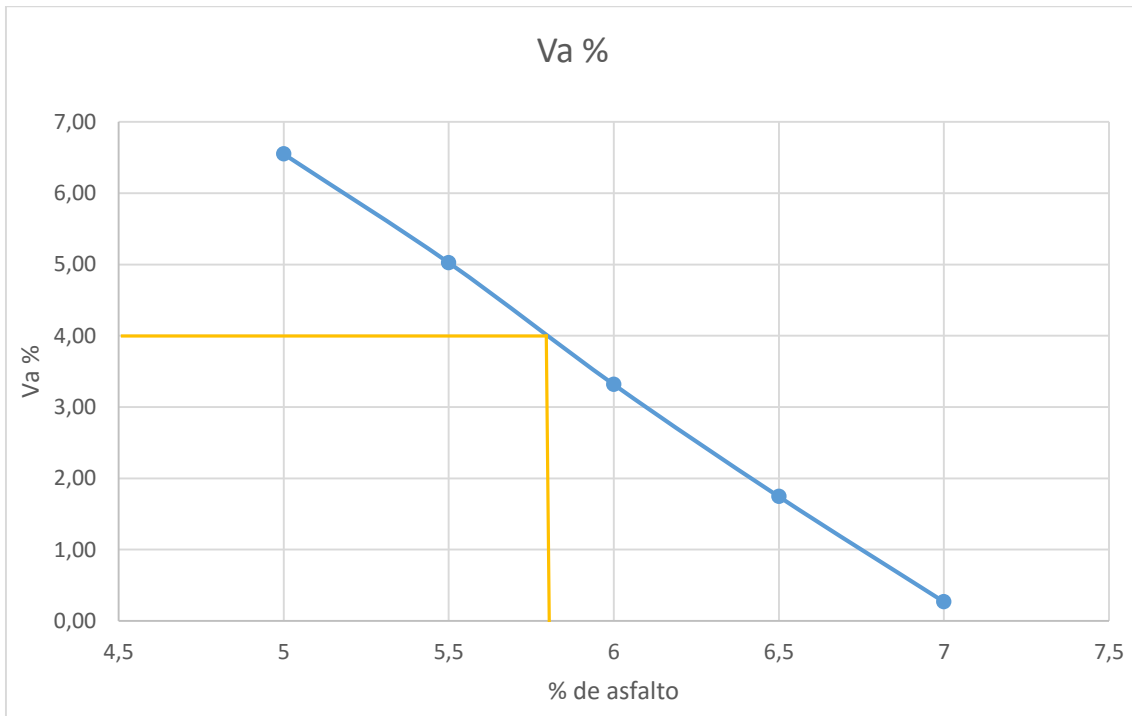
### **4.4. Determinación del porcentaje de asfalto óptimo real**

Estos resultados son un promedio de todas las briquetas ensayadas utilizando las ecuaciones respectivas para cada caso y se obtuvo:

**Tabla 4-3: Promedio de resultados mezcla original**

% Asfalto	Estabilidad	Flujo	Bulk	Va %	VAM %	VAF %
5	4653	11,5	2,276	6,55	23,46	72,08
5,5	4733	11,7	2,286	5,03	24,36	75,64
6	4720	13,2	2,304	3,32	25,04	74,96
6,5	4080	13,7	2,317	1,74	25,80	74,20
7	2927	15,6	2,318	0,27	27,10	72,90

Como resultado se obtuvieron las siguientes graficas de análisis para determinar de manera gráfica el porcentaje óptimo real.



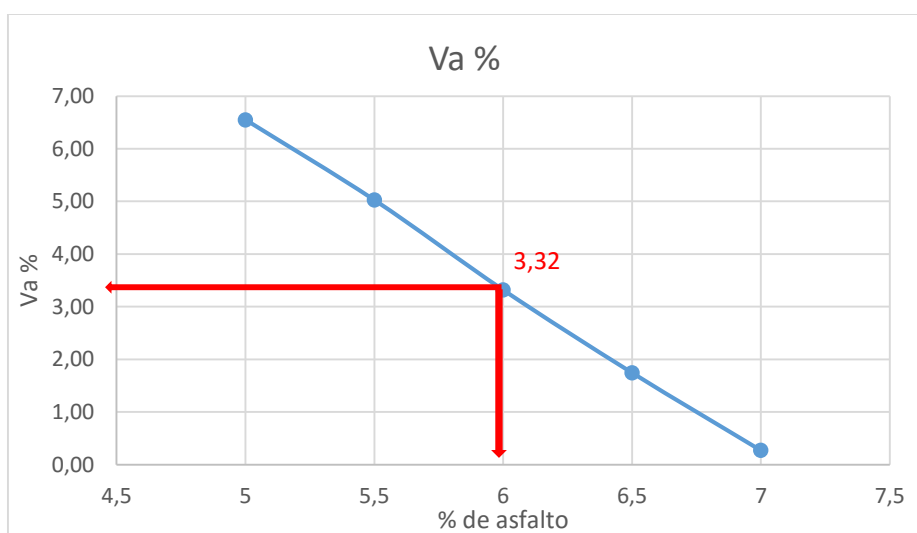
**Gráfica 4-2: % de vacíos Vs % de asfalto**

Según la normativa me sal un porcentaje óptimo de asfalto del 5,8% como se ve en la gráfica 4-2

**Tabla 4-4: Resumen resultados % óptimo obtenido**

			Limites MOP-001F-2002		Cumple
			min	max	
<b>%Asfalto óptimo</b>	5,8	%			
<b>Gravedad Bulk</b>	2,302	gr/cm3			
<b>Estabilidad</b>	4725		2200		SI
<b>Flujo</b>	12,7		8	14	SI
<b>Va</b>	4	%	3	5	SI
<b>VAM</b>	25,3	%	13		SI
<b>VAF</b>	75,3	%	70	80	SI

Estos fueron los datos obtenidos como % de asfalto optimo el 5,8%, sin embargo en el momento de realizar el ensayo ya que se agregó vidrio molido y no se retiró agregado el % de asfalto que se utilizo fue el de 6% con los siguientes resultados:



**Gráfica 4-3: Va % vs % de asfalto**

**Tabla 4-5: Resume del % asfalto óptimo requerido**

			Limites MOP-001F-2002		Cumple
			min	max	
<b>%Asfalto óptimo</b>	6	%			
<b>Gravedad Bulk</b>	2,304	gr/cm3			
<b>Estabilidad</b>	720		2200		SI
<b>Flujo</b>	13,2		8	14	SI
<b>Va</b>	3,32	%	3	5	SI
<b>VAM</b>	25,04	%	13		SI
<b>VAF</b>	74,96	%	70	80	SI

## 5. CAPITULO 5: Diseño mezclas asfálticas con vidrio molido

En este capítulo se explica cómo se realizó la adición de vidrio molido en la mezcla y cuáles fueron los resultados obtenidos en comparación con la mezcla original.

Para la adición de vidrio molido pasante del tamiz 16, se utilizó la misma dosificación de la mezcla original sin variar el contenido de los materiales, lo que se hizo fue adicionar en un 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, el vidrio molido, este material se lo coloco en la bandeja de material que iba a ser colocado en el horno para que tome la temperatura de mezclado que era de 145°C.

De cada porcentaje de vidrio, se requerían 6 briquetas para obtener los resultados de estabilidad, flujo, gravedades y volúmenes de vacíos.

El porcentaje de asfalto que se va a utilizar es de 6%, este porcentaje será calculado a partir del valor de cada mezcla pesada luego de salir del horno. Para el ensayo de RICE se requiere el doble de material y se realiza 2 muestras por cada porcentaje de vidrio molido determinación

### 5.1.Determinación de la cantidad de vidrio en cada porcentaje

$$\text{Peso de vidrio} = \frac{\% \text{ de vidrio} * 1100}{100 - \% \text{ de vidrio}}$$

Ecuación 5-1

Tabla 5-1: peso de vidrio adicionado a la mezcla

% de vidrio	Peso de vidrio (gr)	Peso total de mezcla (gr)
0	0	1100
3	34,02	1134,02
6	70,21	1168,04
9	108,79	1202,06
12	150,00	1236,08
15	194,12	1270,10

Estas son las masas de cada muestra que se va a utilizar, esto se obtuvo solo de una regla de tres en la que se toma como base el peso de la mezcla original, lo máximo de peso en nuestra muestra de material es de 1270gr

## 5.2. Resultados – método Marshall adición vidrio molido

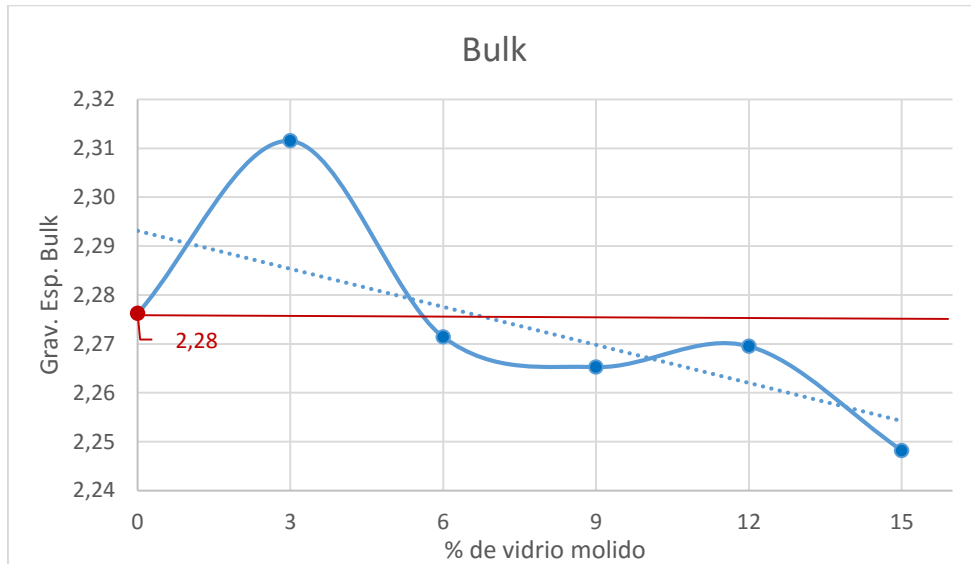
Los siguientes resultados son un promedio de las 6 briquetas de cada porcentaje de vidrio molido adicionado, los cálculos se los realizaron con las ecuaciones descritas en capítulos anteriores respectivamente

**Tabla 5-2: Resultados promedio mezcla con vidrio molido**

<b>% Vidrio</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Flujo</b>	<b>Bulk</b>	<b>Va %</b>	<b>VMA</b>	<b>VFA</b>
0	4720	13	2,28	3,32	25,04	74,96
3	5950	14	2,31	4,75	23,06	79,42
6	5970	13	2,27	6,70	24,27	72,41
9	5302	14	2,27	7,08	24,70	71,34
12	5383	14	2,27	6,51	24,66	73,61
15	5455	14	2,25	7,31	25,58	71,40

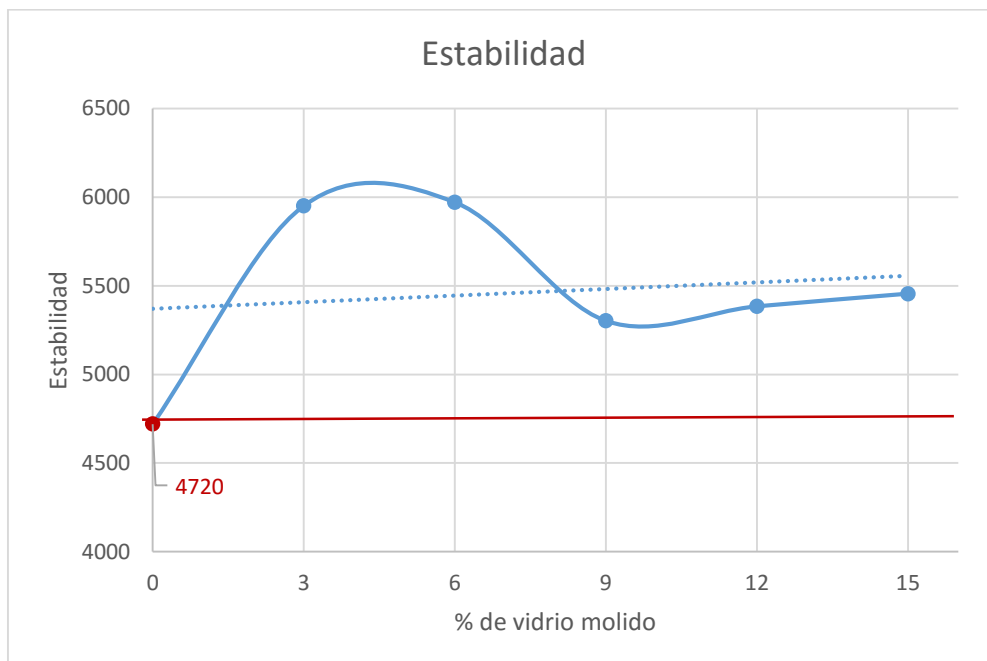
## 6. CAPITULO 6: Gráficas comparativas

- Grafica gravedad especifica Bulk Vs el porcentaje de vidrio molido, son resultados promedio de cada porcentaje promedio que se obtuvo, tomando como base cuando la mezcla tiene 0% de vidrio molido.



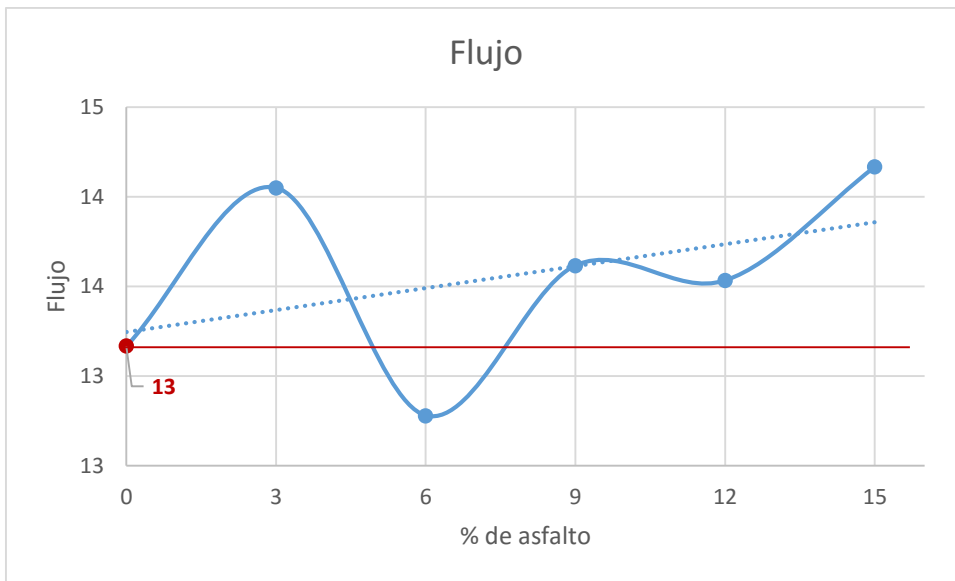
Gráfica 6-1: Grav. Esp. Bulk VS % de vidrio molido

- Grafica de la variación de estabilidad vs el % de vidrio añadido a la mezcla asfáltica.



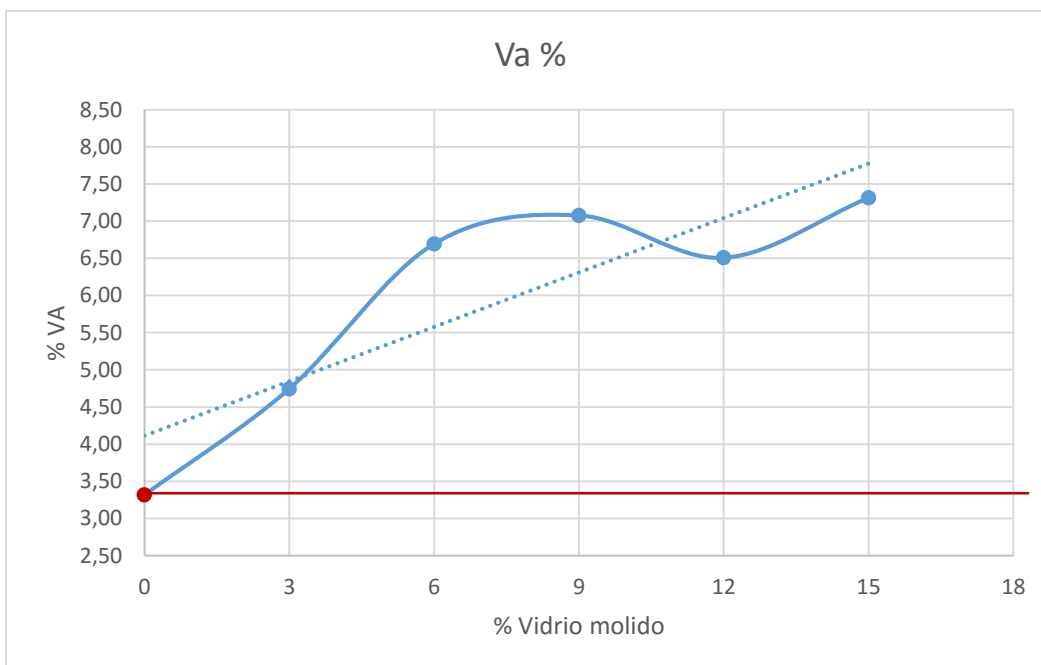
Gráfica 6-2: Estabilidad Vs % de vidrio molido

- Grafica del flujo obtenido Vs el % de vidrio molido agregado en la mezcla, la línea roja nos da el promedio que tiene la mezcla sin vidrio molido.



**Gráfica 6-3: Flujo VS % de vidrio molido**

- Grafica del Porcentaje de vacíos vs el porcentaje de vidrio molido, comprobando con los vacíos que se produjeron en la mezcla original



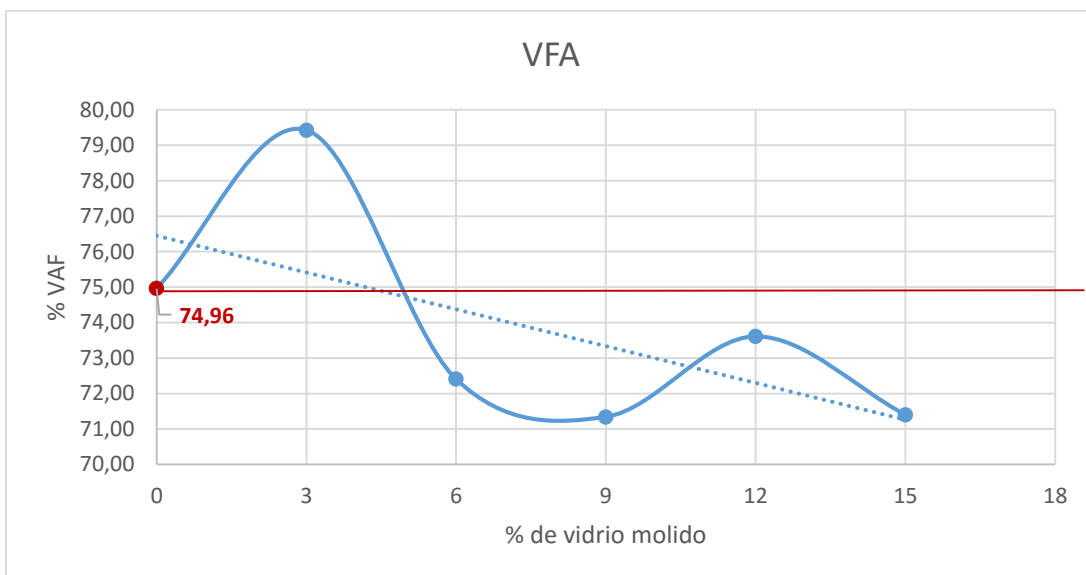
**Gráfica 6-4: % de vacíos Vs % de vidrio molido**

- Grafica Porcentajes de vacíos del agregado en la mezcla vs el porcentaje de vidrio molido.



**Gráfica 6-5: % VAM vs % de vidrio molido**

- Grafica del porcentaje de vacíos cubiertos con el asfalto vs el porcentaje de vidrio molido tomando como referencia el 0 por ciento de vidrio molido



**Gráfica 6-6: % VAF vs % de vidrio molido**

Con los resultados obtenidos y las comparaciones realizadas se dedujo que el % de vidrio optimo será 3% ya que con este cumple con todas las especificaciones necesarias.

**Tabla 6-1: Resultados porcentaje óptimo de vidrio**

	Resultados		Limites MOP-001F-2002		Cumple
			min	max	
<b>% de vidrio óptimo aparente</b>	3	%			
<b>Gravedad Bulk</b>	2,31	gr/cm3			
<b>Estabilidad</b>	5959		2200		SI
<b>Flujo</b>	14		8	14	SI
<b>Va</b>	4,75	%	3	5	SI
<b>VAM</b>	23,06	%	13		SI
<b>VAF</b>	79,42	%	70	80	SI

## 7. CAPITULO 7: Costos de la mezcla original – mezcla con vidrio molido

Tabla 7-1: Volúmenes de briquetas aproximadas

% vidrio	Altura mm	Diámetro mm	Radio mm	Volumen cm <sup>3</sup>
0%	63,2	101,52	50,76	511,3
3%	64,61	101,595	50,7975	523,5
6%	67,81	101,54	50,77	548,8
9%	69,68	101,71	50,855	565,9
12%	72,21	101,69	50,845	586,2
15%	74,59	101,73	50,865	606,0

$$Volumen = \frac{Peso (Kg)}{Peso\ específico \left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

Ecuación 7-1

Tabla 7-2: Volumen de los materiales para los precios unitarios

Material	Peso especifico	Peso	Volumen
	Kg/m <sup>3</sup>	Kg	m <sup>3</sup>
Agre. Grueso	1700	1076	0,63273785
Agre. Fino	1700	645	0,37964271
Arena	1500	430	0,28684116

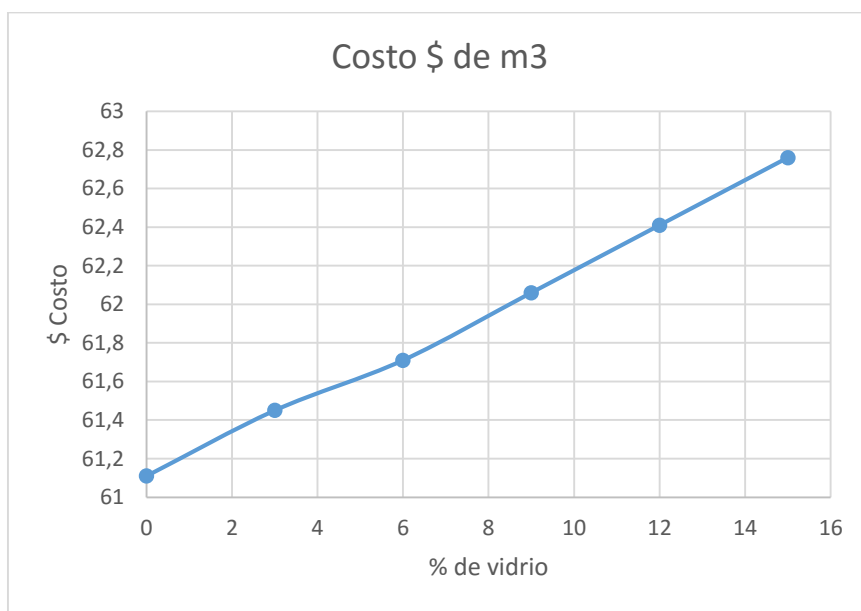
### 7.1. Mezcla asfáltica con 0% de vidrio molido

Material	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
			\$	
Agre. Grueso	m <sup>3</sup>	0,633	12,95	8,19395517
Agre. Fino	m <sup>3</sup>	0,380	12,28	4,66201248
Arena	m <sup>3</sup>	0,287	10,25	2,94012188
Asfalto	gr	137	0,33	45,3148001
				61,11

### 7.2. Mezcla asfáltica con 3% de vidrio molido

Material	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
			\$	
Agre. Grueso	m3	0,633	12,95	8,19395517
Agre. Fino	m3	0,380	12,28	4,66201248
Arena	m3	0,287	10,25	2,94012188
Asfalto	gr	138	0,33	45,6290435
Vidrio	m3	0,025	0,88	0,02
				61,45

### 7.3. Grafica de aumento de precio real con vidrio molido



Gráfica 7-1: Costo Vs % de vidrio molido

## 8. CAPITULO 8: Conclusiones y Recomendaciones

### CONCLUSIONES

- Al aumentar el vidrio molido con los primeros porcentajes de 3 y 6 de adición los resultados variaron significativamente sin embargo a medida que se fue aumentando el vidrio las variaciones fueron tomando una tendencia constante.
- Realizando un análisis comparativos entre la mezcla original y con la adición de vidrio molido, con los resultados obtenidos se pudo ver que la estabilidad y flujo mejoraron al igual que el VAF, sin embargo el % Va aumento demasiado sobrepasando el límite de 5 para tráfico pesado llegando con el 15% de vidrio a 7,31% de vacíos.
- Al momento de realizar la determinación del porcentaje óptimo de asfalto se obtuvo el 6%, sin embargo al realizar las mezclas con vidrio molido, por la característica de permeabilidad de este material se puede lograr reducir el % de asfalto que se requiere utilizar, teniendo en cuenta que se deberán realizar diferentes ensayos para determinar hasta qué porcentaje de asfalto se puede reducir.
- Al aumentar el vidrio molido se observan variaciones significativas en la estabilidad, y flujo, como podemos observar en la tabla siguiente de resultados donde se ve que con vidrio la estabilidad promedio con cada porcentaje va entre 5300-6000 lbf, que es significativamente mayor que con la mezcla original, sin embargo en el flujo también aumenta pero de manera paulatina llegando al límite permitido de 14, con lo que se concluye que si se aumenta el % de vidrio, el flujo aumentaría volviendo a la mezcla rígida y al aplicarla en una capa asfáltica va a provocar fisuramientos temprano, por la presencia de demasiado material fino.  
Sin embargo la resistencia medida por la estabilidad es mucho mayor con la adición de vidrio molido.

<b>% Vidrio</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Flujo</b>
0	4720	13,17
3	5950	14,05
6	5970	12,78
9	5302	13,62
12	5383	13,53
15	5455	14,17

- Realizando un análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica original respecto a la alterada con vidrio, se ve que a medida que se aumenta el vidrio, el valor de la mezcla aumentara también, teniendo una relación directamente proporcional, sin embargo el aumento no es de gran magnitud ya que aumenta alrededor de 0,02% por m<sup>3</sup> con respecto a la mezcla original. Siendo así que el valor por m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica original sale con un valor de \$61,11, y con la adición de vidrio del 3% tiene un valor de \$61,45.
- En valor del vidrio molido se lo tomo con una relación del costo de la trituración del agregado más el valor que tiene una botella reciclada.
- El porcentaje optimo según los resultados obtenidos es del 12% ya que este cumple con la estabilidad, flujo y % de vacíos, sin embargo si se retirara agregado fino, el % de vidrio que se le podría adicionar a la mezcla asfáltica seria mayor ya que así se evitaría que la mezcla se vuelva rígida.
- En lo que respecta a la caracterización de los agregados y el asfalto estos cumplieron satisfactoriamente sus estándares según las normas correspondientes para cada uno de ellos.

## RECOMENDACIONES

- Al realizar los ensayos con el asfalto este no se lo debe calentar a más temperatura de 160 y más de una vez ya que este se lo puede envejecer y variar sus propiedades.
- Se recomienda que en las mezclas asfálticas con vidrio molido se reduzca el material fino especialmente el pasante de los tamices N°50 hasta el pasante de 200, y se suplante con la adición de vidrio molido para que la relación de vacíos de la mezcla no se aumente o reduzca considerablemente hasta sobrepasar los límites permitidos.
- El vidrio no absorbe asfalto como el agregado pétreo, por lo cual se requiere de un análisis más detallado para la determinación del porcentaje de asfalto para cada % de vidrio molido

## **Bibliografía**

- COMUNICACIONES, R. D. (2002). *Obras publicas Ecuador* . Obtenido de Obras publicas Ecuador : [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013\\_ConcursoPublico\\_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf)
- COMUNICACIONES, R. D. (s.f.). *Obras Publicas Ecuador* .
- desarrollo, P. d. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible* . Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible : <http://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Hugo Alexander Rondón Quintana, F. A. (2015). Pavimentos Materiales, construcción y diseño. En F. A. Hugo Alexander Rondón Quintana, *Pavimentos Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: ECOE EDICIONES.
- Institute, A. (1997). Mix Desing Methods For Asphal Concrete (MS-2). En A. Institute, *Mix Desing Methods For Asphal Concrete (MS-2)* (págs. 51 - 52). Lexington.

# ANEXOS

Según la norma ASTM C136 la cantidad mínima de agregado grueso (tabla 3) según el tamaño nominal que se debe tomar de es 15kg en este caso se tomó:

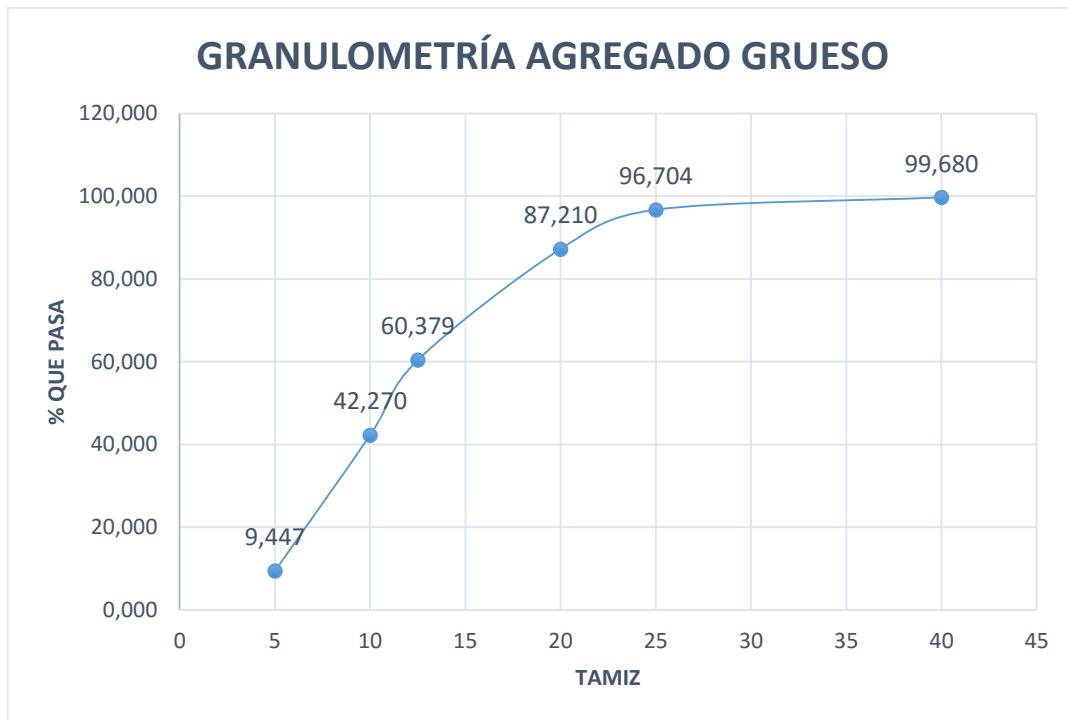
Masa de la muestra inicial	15,02	kg
	15020	gr

**- Porcentajes retenidos y pasantes del agregado grueso**

<b>Tamiz</b>		<b>Masa Retenida gr</b>	<b>Masa Retenida acumulado gr</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Que pasa</b>
<b>pulgadas</b>	<b>mm</b>				
1,5'	<b>40</b>	48	48	0,320	99,680
1'	<b>25</b>	447	495	3,296	96,704
3/4'	<b>20</b>	1426	1921	12,790	87,210
1/2'	<b>12,5</b>	4030	5951	39,621	60,379
3/8'	<b>10</b>	2720	8671	57,730	42,270
4'	<b>5</b>	4930	13601	90,553	9,447
Pasa No 4		1418	15019	99,993	0,007
<b>Total</b>		15019			

Aproximadamente el 60% de este material tuvo tamaño nominal de, 4pulg y 0,5pulg, reteniendo el 33% y 27% de agregado respectivamente, lo demás del material se retuvo en los diferentes tamices restantes.

La siguiente grafica (grafica 2) muestra la curva granulométrica que se obtuvo, se observa la distribución del suelo según su tamaño:



**Curva granulométrica agregado grueso**

- **Agregado fino:**

Según la norma ASTM C136, la cantidad mínima para la muestra de agregado fino será de 300gr se tomó:

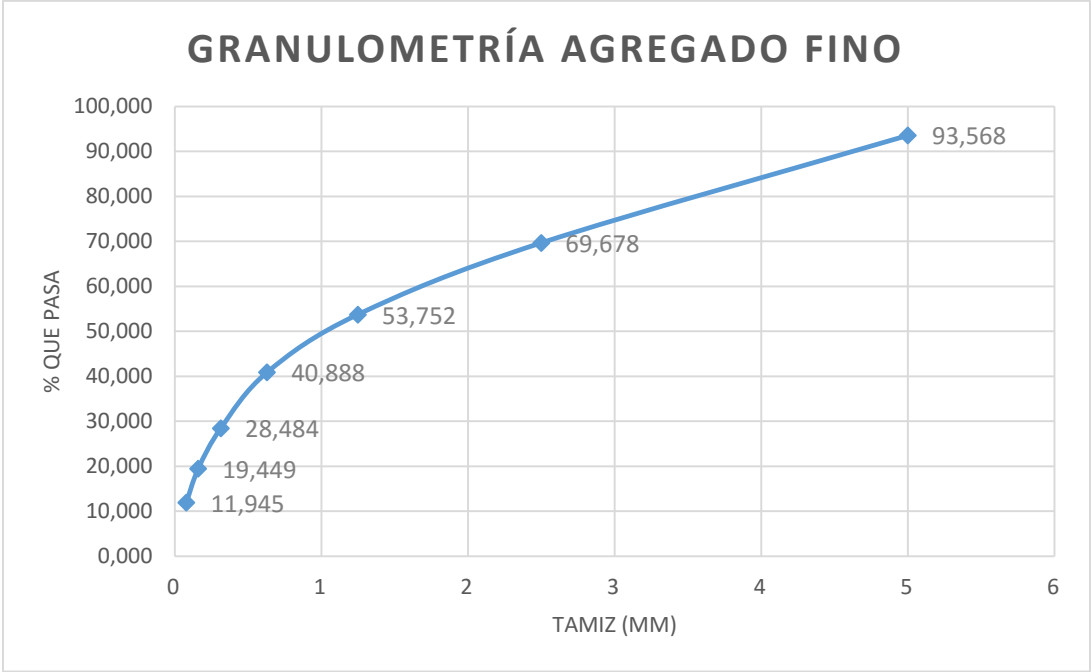
Masa de la muestra inicial	653 gr
----------------------------	--------

- **Porcentajes retenidos y pasantes de agregado fino**

Tamiz		Masa Retenida	Masa Retenida	%	% Que
pulgadas	mm	gr	acumulado gr	Retenido	pasa
4'	5	42	42	6,432	93,568
8'	2,5	156	198	30,322	69,678
16'	1,25	104	302	46,248	53,752
30'	0,63	84	386	59,112	40,888
50'	0,315	81	467	71,516	28,484
100'	0,16	59	526	80,551	19,449
200'	0,08	49	575	88,055	11,945
Pasa No 200		78	653	100,000	0,000
Total		653			

El mayor porcentaje de material que se tuvo retenido en un tamiz fue de 24% de tamaño nominal 8pulg.

La curva granulométrica que se obtuvo de este agregado está representada en la siguiente grafica (grafica 3).



**Curva granulométrica agregado fino**

- **Arena:**

Según la norma ASTM C136, la cantidad mínima para la muestra de arena será de 300gr se tomó:

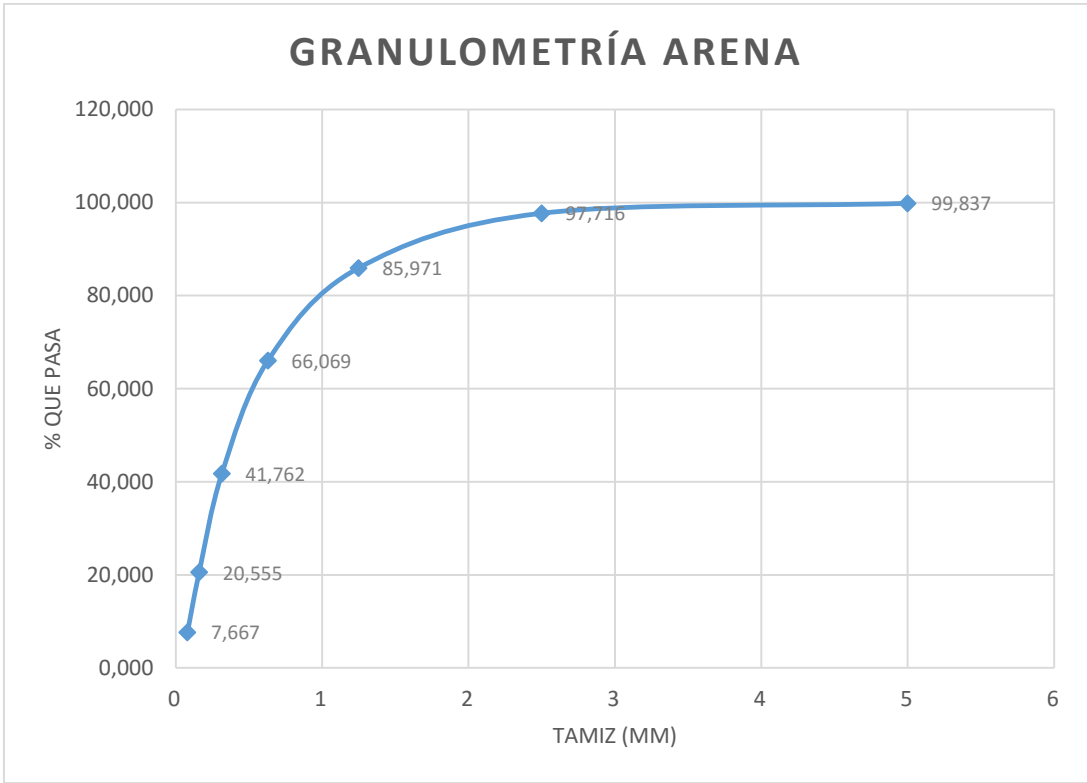
Masa de la muestra inicial	613 gr
----------------------------	--------

- **Porcentajes retenidos y pasantes de la arena**

Tamiz		Masa Retenida	Masa Retenida	%	% Que
pulgadas	mm	gr	acumulado gr	Retenido	pasa
4'	5	1	1	0,163	99,837
8'	2,5	13	14	2,284	97,716
16'	1,25	72	86	14,029	85,971
30'	0,63	122	208	33,931	66,069
50'	0,315	149	357	58,238	41,762
100'	0,16	130	487	79,445	20,555
200'	0,08	79	566	92,333	7,667
Pasa No 200		47	613	100,000	0,000
Total		613			

Aproximadamente el 65% de arena tiene el tamaño nominal de 50pulg, 100pulg, 30pulg, reteniendo el 24%, 21%, 20% respectivamente, lo demás de material se distribuye en los tamices restantes.

La curva granulométrica que se obtuvo según la distribución por tamaño de este material fue la siguiente (gráfica 4)



**Curva granulométrica agregado arena**

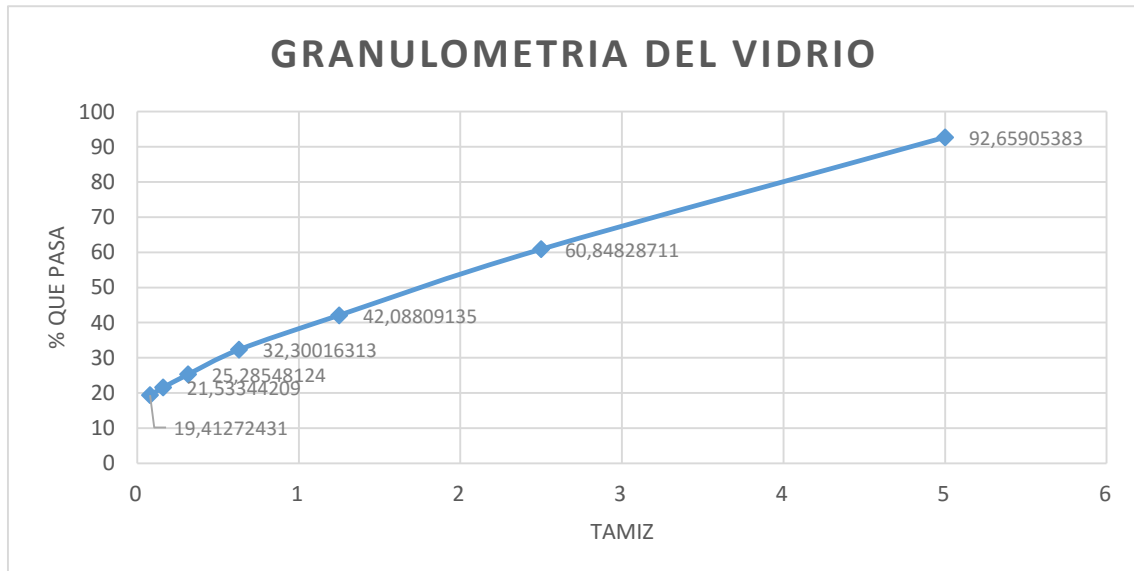
- GRANULOMETRIA DEL VIDRIO

Masa de la muestra inicial

504 gr

Tamiz		Masa Retenida gr	Masa Retenida acumulado gr	% Retenido	% Que pasa
pulgadas	mm				
4'	5	45	45	7,34094617	92,6590538
8'	2,5	195	240	39,1517129	60,8482871
16'	1,25	115	355	57,9119086	42,0880914
30'	0,63	60	415	67,6998369	32,3001631
50'	0,315	43	458	74,7145188	25,2854812
100'	0,16	23	481	78,4665579	21,5334421
200'	0,08	13	494	80,5872757	19,4127243
Pasa No 200		10	504	82,2185971	17,7814029

504



- **Equivalente de arena**

En la norma MOP-001F-2002 se especifica que el valor mínimo de equivalente de arena según la ASTM D 2419 deberá ser de 45% se obtuvo:

$$\% \text{ equivalente de arena} = 100 * \frac{\text{sedimento: lectura B}}{\text{suspensión: lectura A}}$$

- **Agregado fino**

**Tabla 0-1: Datos equivalentes de arena**

Probeta	Lectura Inicial A	Lectura Final B
a	4,9	3,3
b	4,75	3

Con los resultados de la tabla 7 obtenidos previamente en el laboratorio, y aplicando la ECUACIÓN 1 podemos verificar que el material cumple con la norma, teniendo más de 45% de equivalente de arena.

- **Resultado equivalente de arena**

Probeta	% equivalente de arena
a	67
b	63

- **Arena**
- **Datos equivalente de arena**

Probeta	Lectura Inicial A	Lectura Final B
a	5	3
b	4,8	3,3

Usando la ECUACIÓN 1 y los resultados de la tabla 9 obtenidos en el laboratorio, se verifico que la arena cumple con las especificaciones ya que posee más de 45% de equivalente de arena.

**Tabla 0-2: Resultados equivalente de arena**

Probeta	% equivalente de arena
a	60
b	69

- **Gravedad específica y absorción**

Se obtuvieron los siguientes datos del laboratorio:

- **Agregado grueso**

**Datos laboratorio**

A =	Masa de la muestra seca	4833	gr
B =	Masa de la muestra saturada con superficie seca	5005	gr
C =	Masa de la muestra sumergida en el agua	3000	gr

- **Gravedad específica Bulk**

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

Ge = gravedad específica Bulk

- **Gravedad específica saturada con superficie seca**

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

Donde:

Ges = gravedad específica saturada con superficie seca

- **Gravedad específica aparente**

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

Gea = gravedad específica aparente

- **Porcentaje de absorción**

$$\% Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

Ab = porcentaje de absorción

### Resultados gravedades

	Resultados	Unidades
Ge	2,4105	gr/cm3
Ges	2,4963	gr/cm3
Gea	2,6367	gr/cm3
Ab	3,5589	%

- **Agregado fino**

**Datos del laboratorio**

Mm	Masa del matraz	159,8	gr
Mmw	Masa del matraz + agua + muestra	954,7	gr
B	Masa de la muestra saturada con superficie seca	510	gr
A	Masa de la muestra seca	486	gr

- **Gravedad especifica Bulk**

$$Ge = \frac{A}{500 - Ma}$$

Donde:

Ge = gravedad especifica bulk

Ma = masa de agua añadida al matraz gr

$$Ma = Mmw - (Mm + B)$$

- **Gravedad especifica con superficie seca**

$$Ges = \frac{B}{500 - Ma}$$

Donde:

Ges = gravedad especifica con superficie seca

- **Gravedad especifica aparente**

$$Gea = \frac{A}{(500 + A) - (Mm - Mmw)}$$

Donde:

Gea = gravedad específica aparente

- **Porcentaje de absorción**

$$\%Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

Ab = porcentaje de absorción

**Resultados laboratorio**

	Resultados	Unidades
Ma	284,9	gr
Ge	2,259	gr/cm3
Ges	2,3710	gr/cm3
Gea	2,5432	gr/cm3
Ab	4,938	%

- **Arena**

**Datos del laboratorio**

Mm	Masa del matraz	160,3 gr
Mmw	Masa del matraz + agua + muestra	976 gr
B	Masa de la muestra saturada con superficie seca	509 gr
A	Masa de la muestra seca	500 gr

**Resultados del laboratorio**

	Resultado	unidades	
Ma	306,7	gr	Ecuación 7
Ge	2,5867	gr/cm <sup>3</sup>	Ecuación 6
Ges	2,6332	gr/cm <sup>3</sup>	Ecuación 8
Gea	2,7130	gr/cm <sup>3</sup>	Ecuación 9
% Ab	1,8	%	Ecuación 10

- **Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los ángeles**

Según la Tabla 4 y el tipo de distribución granulométrica obtenida, la gradación del material es Tipo B, por lo que es necesario colocar 11 esferas en la máquina de los ángeles, cada esfera pesa aproximadamente 420gr.

La cantidad de material que es necesario para este el Tipo B, es de 2500gr de tamiz 3/8 y 1/2.

- **Material que pasa el tamiz 12**

$$C = A - B$$

Donde:

C = materias pasante el tamiz N° 12

A = Masa inicial de la muestra

B = Masa retenido en el tamiz N° 12

- **Porcentaje de desgaste del agregado grueso**

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{C * 100}{A}$$

**Resultados abrasión**

	Resultados	Unidades
C	3310,3	gr
% de desgaste	33,8	%

Según la normativa ASTM C131 el desgaste de los materiales no debe exceder en un 45%, por lo que se puede concluir que el material cumple con el requerimiento ya que tiene el 33,8% de desgaste.

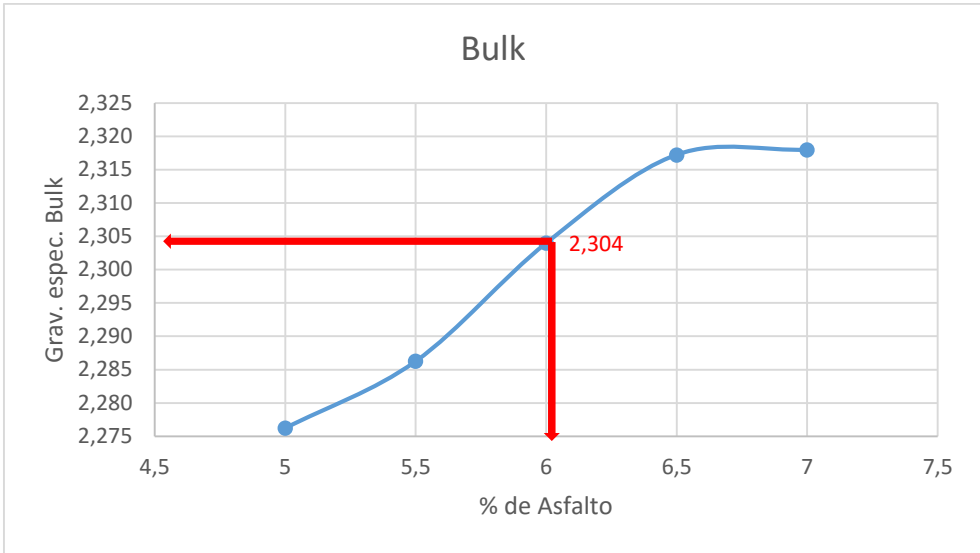
- Durabilidad de los agregados por acción del sulfato de sodio
- Desgaste del agregado grueso ante el sulfato de sodio

N° de tamices		MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	%RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	% QUE PASA DESPUES DEL ENSAYO	% DE DESGASTE PARCIAL
PASA	RETIENE					
	1/2"	337,87	333,25	12,19	0,96	0,16
1/2"	3/8"	367,36	350,66	35,79	3,43	1,13
3/8"	N° 4	330,57	314,46	44,02	1,1	0,87
<b>PORCENTAJE TOTAL DE DESGASTE</b>						2,16

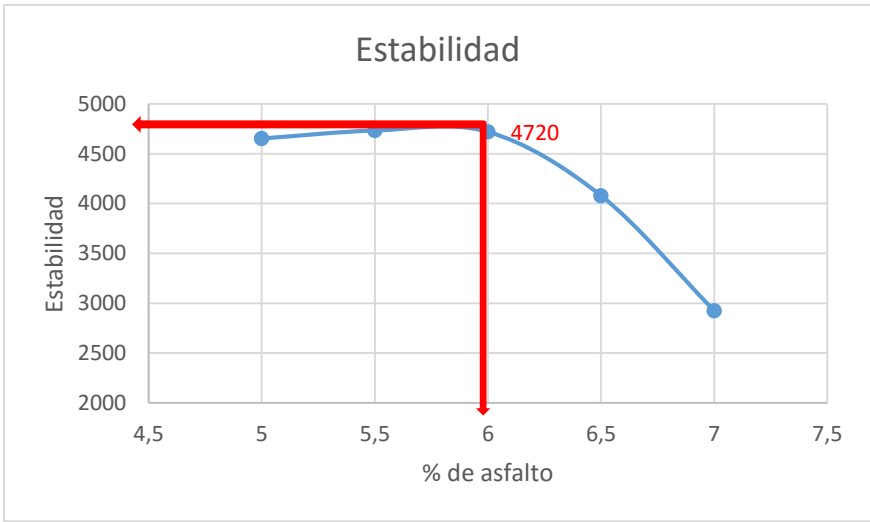
Tabla 0-3: Desgaste del agregado fino ante el sulfato de sodio

N° de tamices		MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	%RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	% QUE PASA DESPUES DEL ENSAYO	% DE DESGASTE PARCIAL
PASA N°	RETIENE N°					
	4	144,68	131,46	1,12	8,07	0,15
4	8	142,2	126,57	30,41	9,81	2,34
8	16	142,58	128,43	55,27	8,7	4,35
16	30	116,32	103,8	23,1	9,43	1,45
30	50	151,55	139,2	13,95	7,54	1,01
<b>PORCENTAJE TOTAL DE DESGASTE</b>						9,3

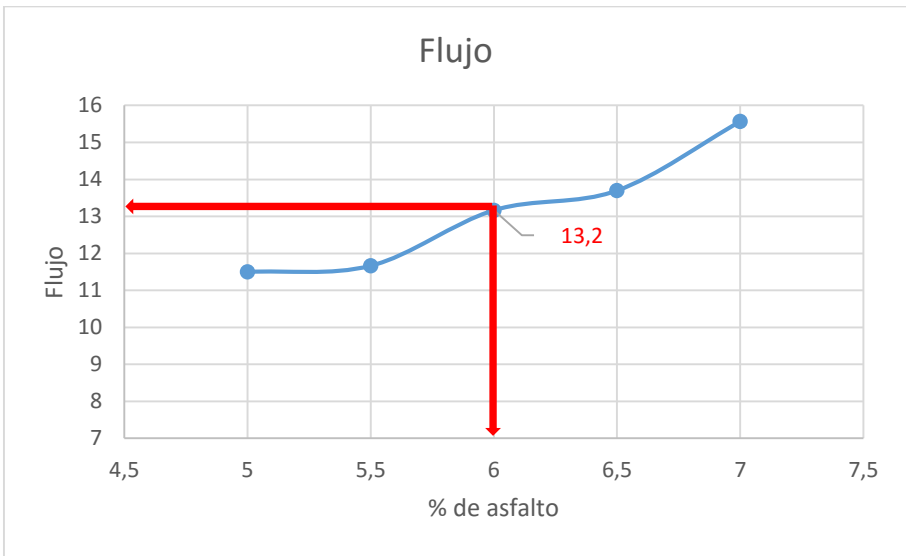
Como resultado se obtuvieron las siguientes graficas de análisis para determinar de manera gráfica el porcentaje óptimo real.



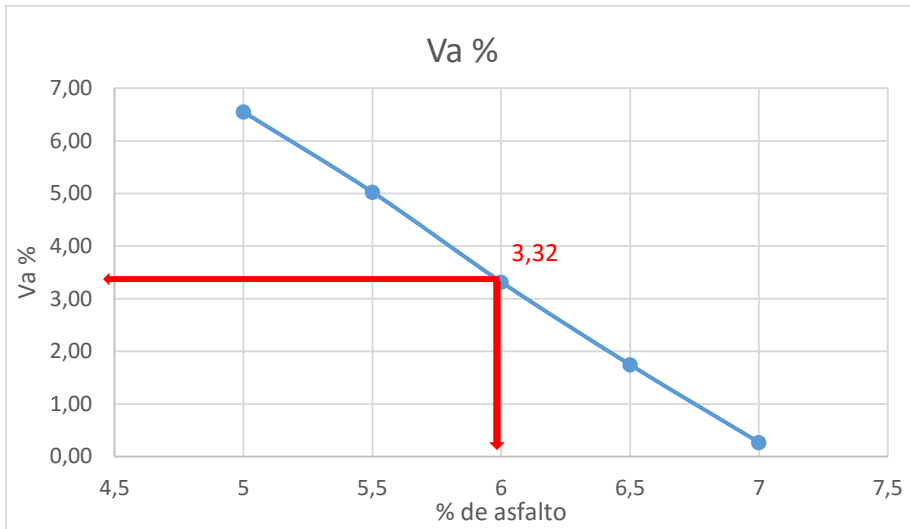
**Gráfica 2: Gb Vs % asfalto**



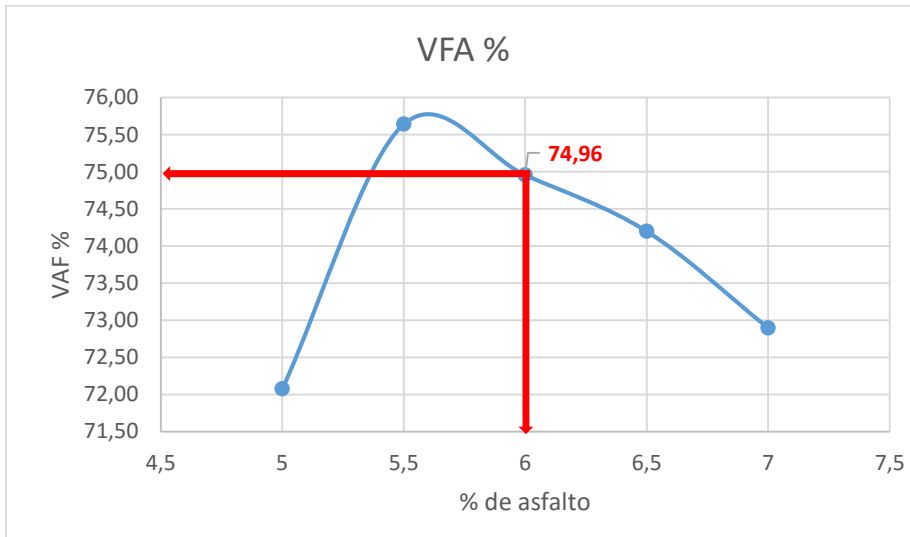
**Gráfica 3: estabilidad Vs % de asfalto**



**Gráfica 4: flujo vs % de asfalto**



**Gráfica 5: Va % vs % de asfalto**



**Gráfica 6: VAF% vs % asfalto**

- Volúmenes de briquetas aproximadas

% vidrio	Altura mm	Diámetro mm	Radio mm	Volumen cm3
0%	63,2	101,52	50,76	511,3
3%	64,61	101,595	50,7975	523,5
6%	67,81	101,54	50,77	548,8
9%	69,68	101,71	50,855	565,9
12%	72,21	101,69	50,845	586,2
15%	74,59	101,73	50,865	606,0

$$Volumen = \frac{Peso (Kg)}{Peso\ específico \left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

- Volumen de los materiales para los precios unitarios

Material	Peso específico	Peso	Volumen
	Kg/m3	Kg	m3
Agre. Grueso	1700	1076	0,63273785
Agre. Fino	1700	645	0,37964271
Arena	1500	430	0,28684116

Costos por porcentaje de vidrio

- Mezcla asfáltica con 0% de vidrio molido

Material	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
			\$	
Agre. Grueso	m3	0,633	12,95	8,19395517
Agre. Fino	m3	0,380	12,28	4,66201248
Arena	m3	0,287	10,25	2,94012188
Asfalto	gr	137	0,33	45,3148001
				61,11

- **Mezcla asfáltica con 3% de vidrio molido**

Material	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
			\$	
Agre. Grueso	m3	0,633	12,95	8,19395517
Agre. Fino	m3	0,380	12,28	4,66201248
Arena	m3	0,287	10,25	2,94012188
Asfalto	gr	138	0,33	45,6290435
Vidrio	m3	0,025	0,88	0,02
				61,45

- **Mezcla asfáltica con 6% de vidrio molido**

Material	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
			\$	
Agre. Grueso	m3	0,633	12,95	8,19395517
Agre. Fino	m3	0,380	12,28	4,66201248
Arena	m3	0,287	10,25	2,94012188
Asfalto	gr	139	0,33	45,87
Vidrio	m3	0,049	0,88	0,04
				61,71

- **Mezcla asfáltica con 9% de vidrio molido**

Material	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
			\$	
Agre. Grueso	m3	0,633	12,95	8,19395517
Agre. Fino	m3	0,380	12,28	4,66201248
Arena	m3	0,287	10,25	2,94012188
Asfalto	gr	140	0,33	46,2
Vidrio	m3	0,074	0,88	0,07
				62,06

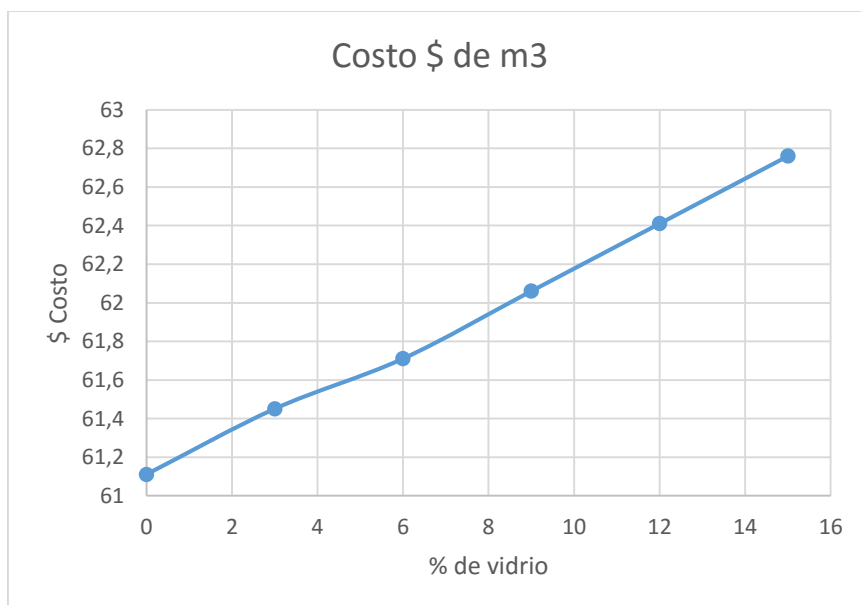
- **Mezcla asfáltica con 12% de vidrio molido**

Material	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
			\$	
Agre. Grueso	m3	0,633	12,95	8,19395517
Agre. Fino	m3	0,380	12,28	4,66201248
Arena	m3	0,287	10,25	2,94012188
Asfalto	gr	141	0,33	46,53
Vidrio	m3	0,098	0,88	0,09
				62,41

- **Mezcla asfáltica con 15% de vidrio molido**

Material	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
			\$	
Agre. Grueso	m3	0,633	12,95	8,19395517
Agre. Fino	m3	0,380	12,28	4,66201248
Arena	m3	0,287	10,25	2,94012188
Asfalto	gr	142	0,33	46,86
Vidrio	m3	0,123	0,88	0,11
				62,76

- **Grafica de aumento de precio real con vidrio molido**



**Gráfica 7: Costo Vs % de vidrio molido**





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción**

**Control de Materiales Bituminosos  
Formulario 000**

<b>Proyecto</b>	
<b>Contratista</b>	

<b>Norma AASHTO</b>	X	T 228-06	Gravedad Específica de Materiales Bituminosos Semisólidos
<b>Norma ASTM</b>		D 70-03	

**Datos de muestra**

<b>Código</b>		<b>Fecha</b>		<b>Grado</b>	
<b>Observaciones:</b>	TESIS				

**Datos de ensayo**

1	T	25	Temperatura de ensayo [°C]
2	A	38.028	Masa de picnómetro + tapón secos [g] <i>Nota: Pesar con precisión de 0.001 g</i>
3	B	62.335	Masa del picnómetro + tapón + agua destilada @ T±0.1 °C [g] <i>Nota: Sumergir por 30 min antes de pesar Pesar con precisión de 0.001 g</i>
4	C	54.839	Masa del picnómetro + tapón + asfalto [g] <i>Nota: Pesar con precisión de 0.001 g</i>
5	D	62.497	Masa del picnóm. + tapón + asfalto + agua destilada @ T±0.1 °C [g] <i>Nota: Sumergir por 30 min antes de pesar Pesar con precisión de 0.001 g</i>

**Resultados**

<b>G<sub>b</sub></b>	0.000	Gravedad específica (a la milésima) <i>Calcular: (C-A) / [(B - A)-(D-C)]</i>
<b>δ</b>	0	Densidad <i>Calcular: G<sub>b</sub> x W<sub>T</sub></i> <i>Nota: W<sub>T</sub> @ 15 °C = 999.1 kg/m<sup>3</sup></i> <i>W<sub>T</sub> @ 25 °C = 997.0 kg/m<sup>3</sup></i>

**Notas**

		No. Picnómetro: 755
	<input checked="" type="checkbox"/>	Hubbard-Carmick
	<input type="checkbox"/>	Hubbard

**Ejecutado por**

<b>Operador</b>		<b>Fecha</b>	
-----------------	--	--------------	--

Nivel F010



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción



LMC-MPT-5.4-AP-5-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS  
ENSAYO DE VISCOSIDAD CON VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO

ORDEN DE TRABAJO N°

FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA:

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

NÚMERO DE VISCOSÍMETRO:

CÓDIGO DE VISCOSÍMETRO:

TIEMPO DE FLUJO (s):

B	C	D	E	F
<input type="text" value="65,48"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

OBSERVACIONES:

---

---

---

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

\_\_\_\_\_  
ENSAYO

\_\_\_\_\_  
INFORME





LMC-MPT-5.4-AP-4-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS

ENSAYO DE PUNTO DE CHISPA Y LLAMA CON EL EQUIPO DE COPA ABIERTA CLEVELAND

ORDEN DE TRABAJO N°

FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

PUNTO DE CHISPA (°C):

PUNTO DE LLAMA (°C):

PRESIÓN BAROMÉTRICA (mmHg):

OBSERVACIONES:

---

---

---

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

\_\_\_\_\_  
ENSAYO

\_\_\_\_\_  
INFORME



LMC-MPT-5.4-AP-2-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS  
ENSAYO DE DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

ORDEN DE TRABAJO N°

FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

ADITIVO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA:

NÚMERO DE RÉPLICAS:

DISTANCIA DE ROTURA (cm):

D1

D2

D3

ENSAYO NORMAL:

SI  NO

SI  NO

SI  NO

OBSERVACIONES:

---

---

---

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

\_\_\_\_\_  
ENSAYO

\_\_\_\_\_  
INFORME

Nicol Foerere

## ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

### PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE BITUMEN (APARATO DE ANILLO Y BOLA)

PROYECTO:  
LOCALIZACIÓN:  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D36/D36M - 12  
PROCEDIMIENTO:  
RECEPCIÓN N°  
HOJA:  
MUESTRA: Tomada por el cliente

SOLICITA:  
FISCALIZACIÓN:  
CONTRATISTA:  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:  
FECHA DE EMISIÓN:

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	1039
Líquido usado en el baño	235

Registros de la muestra:

	Anillo 1	Anillo 2	Promedio
Punto de ablandamiento, °C	50	49,8	

OBSERVACIONES:

**AREA DE PAVIMENTOS**  
**FORMATO DE CAMPO**  
**DIMENSIONES DE NUCLEOS CORTADOS RDP**

ORDEN: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

IDENTIFICACION DEL ESPECIMEN	ABCISA	UBICACIÓN	LECTURAS				PROMEDIO	
			E/D	1	2	3		4
1			ESPEJOR	63,94	63,96	64,00	64,38	
			DIAMETRO	101,73	101,66	101,64	101,68	
2			ESPEJOR	64,03	64,13	<del>64,35</del>	64,26	64,55
			DIAMETRO	101,67	101,60	101,62	101,62	
3			ESPEJOR	65,21	65,35	65,09	65,31	
			DIAMETRO	101,41	101,44	101,40	101,45	
4			ESPEJOR	65,03	65,13	65,07	65,20	
			DIAMETRO	101,43	101,47	101,37	101,47	
5			ESPEJOR	64,37	64,42	64,02	64,24	
			DIAMETRO	101,75	<del>102,84</del>	101,80	101,87	
6			ESPEJOR	65,10	65,13	64,65	64,69	
			DIAMETRO	101,58	101,61	101,44	101,59	
7			ESPEJOR	67,50	67,74	67,66	67,83	
			DIAMETRO	101,65	101,60	101,44	101,66	
8			ESPEJOR	67,42	67,85	67,98	67,75	
			DIAMETRO	101,67	101,57	101,68	101,70	
9			ESPEJOR	67,86	67,88	67,94	67,80	
			DIAMETRO	101,60	101,53	101,34	101,31	
10			ESPEJOR	68,23	68,44	68,56	68,56	
			DIAMETRO	101,40	101,50	101,40	101,33	
11			ESPEJOR	68,44	68,10	68,05	68,29	
			DIAMETRO	101,44	101,52	101,33	101,50	
12			ESPEJOR	67,41	67,53	67,51	67,72	
			DIAMETRO	101,50	101,58	101,52	101,54	
13			ESPEJOR	69,58	70,36	70,78	70,48	
			DIAMETRO	101,69	101,72	101,24	101,76	
14			ESPEJOR	69,71	69,98	69,77	69,50	
			DIAMETRO	101,94	101,75	102,05	102,01	
15			ESPEJOR	69,96	70,42	70,15	70,50	
			DIAMETRO	101,46	101,53	101,67	101,55	

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

**AREA DE PAVIMENTOS  
FORMATO DE CAMPO  
DIMENSIONES DE NUCLEOS CORTADOS RDP**

ORDEN: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

IDENTIFICACION DEL ESPECIMEN	ABCISA	UBICACIÓN	LECTURAS				PROMEDIO	
			E/D	1	2	3		4
16			ESPEJOR	69,34	69,72	69,53	69,67	
			DIAMETRO	101,68	101,63	101,65	101,59	
17			ESPEJOR	69,51	69,72	69,68	69,59	
			DIAMETRO	101,53	101,49	101,53	101,56	
3			ESPEJOR	69,99	69,79	70,07	70,01	
			DIAMETRO	102,02	102,00	101,94	101,93	
19			ESPEJOR	71,75	72,10	72,01	71,80	
			DIAMETRO	101,68	101,57	101,52	101,54	
20			ESPEJOR	72,57	72,26	72,27	72,24	
			DIAMETRO	101,56	101,51	101,46	101,41	
21			ESPEJOR	71,38	71,65	72,46	71,93	
			DIAMETRO	101,73	101,96	101,72	101,74	
22			ESPEJOR	72,17	70,94	71,92	71,58	
			DIAMETRO	101,96	101,99	102,06	102,12	
23			ESPEJOR	72,65	72,14	72,85	72,38	
			DIAMETRO	101,64	101,69	101,81	101,72	
24			ESPEJOR	72,72	72,16	72,65	72,38	
			DIAMETRO	101,58	101,62	101,13	101,67	
25			ESPEJOR	74,87	74,80	74,76	74,98	
			DIAMETRO	101,96	101,90	101,64	101,92	
26			ESPEJOR	74,90	75,50	75,15	75,66	
			DIAMETRO	101,60	101,56	101,61	101,11	
27			ESPEJOR	75,11	74,54	74,71	74,47	
			DIAMETRO	101,50	101,55	101,60	101,63	
28			ESPEJOR	74,76	74,32	75,00	74,38	
			DIAMETRO	101,14	101,35	101,52	101,76	
29			ESPEJOR	74,94	75,38	75,44	75,42	
			DIAMETRO	101,72	101,74	101,77	101,55	
30			ESPEJOR	72,96	73,45	73,05	73,19	
			DIAMETRO	102,51	102,45	102,72	102,17	

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_



ÁREA DE PAVIMENTOS  
ENSAYO DE PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS

ORDEN DE TRABAJO N°  FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

CARGA (g):

SEGUNDOS (s):

PENETRACIONES (Décimas de mm):

P1	<input type="text" value="75"/>	P4	<input type="text"/>
P2	<input type="text" value="76"/>	P5	<input type="text"/>
P3	<input type="text" value="78"/>	P6	<input type="text"/>

OBSERVACIONES:

Peso grupo → 2,5 gr  
Usillo → 50,003 gr. } suma y es la carga  
peso de 50 gr

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

\_\_\_\_\_  
ENSAYO

\_\_\_\_\_  
INFORME

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:			SOLICITA:
PROYECTO:			FISCALIZA:
UBICACIÓN:			CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:			FECHA ELAB:
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M	5	Número de muestra	6% Asfalto
TM	10	Número total de muestras	
A	2334,6	Masa de la muestra [g]	
D		Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	
E	8764,6	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
Director LMC

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:			SOLICITA:
PROYECTO:			FISCALIZA:
UBICACIÓN:			CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:			FECHA ELAB:
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M	6	Número de muestra	6% Astalta
TM	10	Número total de muestras	
A	2329,9	Masa de la muestra [g]	
D		Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	
E	8766,3	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b><math>\Delta</math> [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Pavimentos

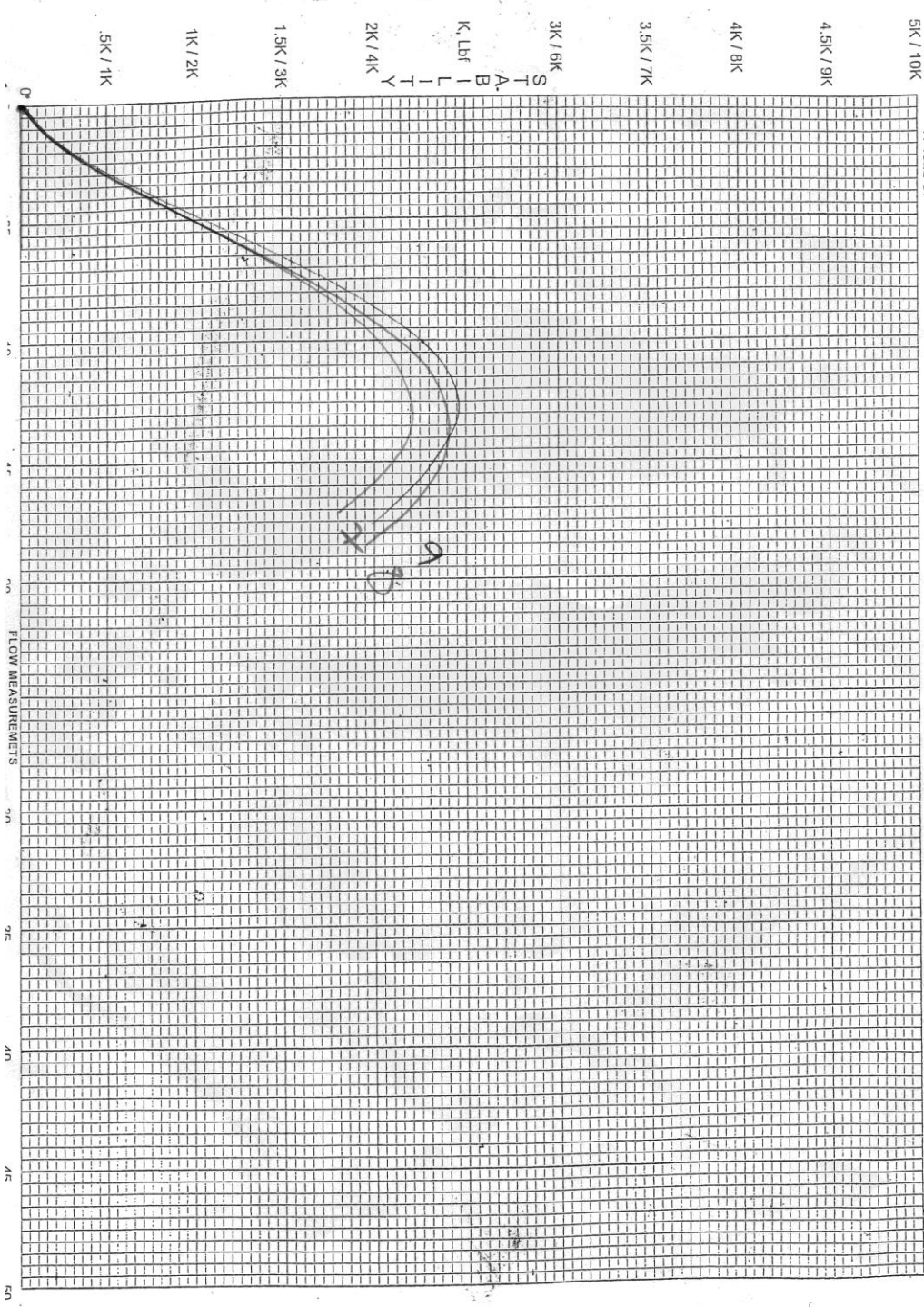
Ing. Guillermo Realpe  
Director LMC

MARK SELECTION  
D/1

H-1322 CP



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Construcción  
Proyecto Nuevo  
Centro Internacional de Quito



**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:		SOLICITA:	
PROYECTO:		FISCALIZA:	
UBICACIÓN:		CONSTRUYE:	
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:		FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M	7ma	Número de muestra	3% VIDAS 1
TM		Número total de muestras	
A	240,8	Masa de la muestra [g]	
D		Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	8828,7	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A?	

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
CICLO	Masa [g]	Δ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
Director LMC

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:		SOLICITA:	
PROYECTO:		FISCALIZA:	
UBICACIÓN:		CONSTRUYE:	
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:		FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M	90	Número de muestra	3% viano - 2
TM		Número total de muestras	
A	2399,7	Masa de la muestra [g]	
D		Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	
E	8826,5	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A?	

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
CICLO	Masa [g]	$\Delta$ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS  
FORMATO DE CAMPO

Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS  
Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas

PROYECTO: Bulk Normal  
RECEPCIÓN: \_\_\_\_\_  
HOJA: \_\_\_\_\_

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	ASTM D166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Corregida	Flujo 0.01"
1					1146,74	645,16	1149,87				
2					1138,71	643,38	1143,29				
3					1141,97	643,66	1144,80				
4					1151,36	650,75	1153,02				
5					1148,31	647,17	1150,5				
6					1155,86	653,43	1159,28				
7					1158,46	653,84	1159,31				
8					1161,46	660,35	1162,94				
9					1156,69	658,06	1158,48				
10					1165,40	663,27	1166,39				

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_  
INFORME REALIZADO POR \_\_\_\_\_

ÁREA DE PAVIMENTOS  
FORMATO DE CAMPO

Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS  
Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujío de Mezclas Bituminosas

PROYECTO: Bulk Normal

RECEPCIÓN: \_\_\_\_\_

HOJA: \_\_\_\_\_

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especímen (mm)	Diámetro del Especímen (mm)	AASTHO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especímen Seco (gr)	Masa del Especímen Sumergido (gr)	Masa del Especímen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Corregida	Flujío 0.01"
					1173,30	666,95	1174,40				
					1166,09	665,19	1167,13				
					1168,56	664,84	1169,16				
					1163,96	662,38	1163,31				
					1166,17	662,75	1166,49				

2  
4  
1  
5

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_ INFORME REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

**Rheocalc V3.1-1**

**Brookfield Engineering Labs**

Arch: D:\BROOKFIELD\3949-1.DB

Fecha: 31/08/2017 Hora: 15:08:16

Tipo: RV Husillo: SC4-21

Muestra:

#	Viscosidad (cP)	Veloc. (RPM)	% Par (%)	Esf. Cortante (D/cm <sup>2</sup> )	G. Velocidad (1/seg)	Temperatura (°C)	Bath (°C)	Intervalo (mm:ss.t)
1	373.50	100.00	74.7	347.36	93.00	134.7	134.6	00:01:00.2
2	374.50	100.00	74.9	348.29	93.00	134.6	134.5	00:01:00.1
3	373.50	100.00	74.7	347.36	93.00	134.7	134.6	00:01:00.0
4	373.50	100.00	74.7	347.36	93.00	134.7	134.6	00:01:00.0
5	372.50	100.00	74.5	346.43	93.00	134.8	134.7	00:01:00.1
6	372.00	100.00	74.4	345.96	93.00	134.9	134.8	00:01:00.0
7	371.00	100.00	74.2	345.03	93.00	134.9	134.9	00:01:00.1
8	370.50	100.00	74.1	344.56	93.00	135.0	134.9	00:01:00.0
9	369.50	100.00	73.9	343.64	93.00	135.1	134.9	00:01:00.1
10	368.50	100.00	73.7	342.71	93.00	135.1	135.0	00:01:00.0
11	368.50	100.00	73.7	342.71	93.00	135.1	135.0	00:01:00.1
12	368.00	100.00	73.6	342.24	93.00	135.1	135.0	00:01:00.0
13	367.00	100.00	73.4	341.31	93.00	135.1	135.0	00:01:00.0
14	367.50	100.00	73.5	341.78	93.00	135.1	135.0	00:01:00.0
15	367.00	100.00	73.4	341.31	93.00	135.2	135.0	00:01:00.0
16	367.00	100.00	73.4	341.31	93.00	135.1	135.0	00:01:00.0
17	367.00	100.00	73.4	341.31	93.00	135.1	135.0	00:01:00.0
18	367.50	100.00	73.5	341.78	93.00	135.1	134.9	00:01:00.0
19	367.00	100.00	73.4	341.31	93.00	135.1	135.0	00:01:00.1
20	367.50	100.00	73.5	341.78	93.00	135.1	134.9	00:01:00.0
21	367.00	100.00	73.4	341.31	93.00	135.1	135.0	00:01:00.1
22	367.00	100.00	73.4	341.31	93.00	135.2	135.0	00:01:00.1
23	366.00	100.00	73.2	340.38	93.00	135.2	135.2	00:01:00.0
24	366.00	100.00	73.2	340.38	93.00	135.2	135.1	00:01:00.0
25	365.50	100.00	73.1	339.91	93.00	135.3	135.3	00:01:00.1
26	365.50	100.00	73.1	339.91	93.00	135.3	135.2	00:01:00.1
27	365.50	100.00	73.1	339.91	93.00	135.3	135.2	00:01:00.0
28	366.00	100.00	73.2	340.38	93.00	135.2	135.2	00:01:00.0
29	365.50	100.00	73.1	339.91	93.00	135.2	135.3	00:01:00.0