



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO  
EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO.”**

---

**Autor:** Alex Javier Vargas Guevara

**Tutor:** Ing. Mg. Alex Gustavo López Arboleda

**AMBATO – ECUADOR**

**Septiembre - 2022**

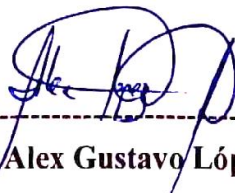
## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO”**, elaborado por el Sr. Alex Javier Vargas Guevara, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805192083, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022



---

**Ing. Mg. Alex Gustavo López Arboleda**  
**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACION**

Yo, Alex Javier Vargas Guevara con C.I: 1805192083, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO”**, así como también los gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



---

**Alex Javier Vargas Guevara**

**C.I.: 180519208-3**

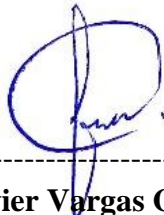
**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2022



---

**Alex Javier Vargas Guevara**

**C.I.: 1805192083**


**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Alex Javier Vargas Guevara de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO”**.

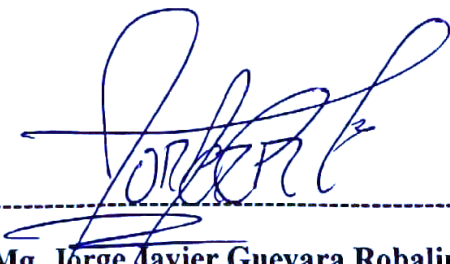
Ambato, septiembre 2022

Para constancia firman:



---

**Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**



---

**Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico de corazón mi proyecto investigativo a mi madre, dado que sin ella no hubiera logrado llegar a donde estoy.

Gracias a su bendición día con día a lo largo de la vida, me ha protegido y me ha sabido llevar por el camino del bien. Es por ello que mi trabajo ofrenda su esfuerzo, paciencia y amor a ella MI MADRE CONSUELO GUEVARA.

**Alex Vargas**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco de primera mano a Dios por haberme otorgado una familia valiosa, quienes han creído en mí siempre dándome el ejemplo de la superación, humildad y sacrificio. A fin de enseñarme el valor de todo en la vida, también agradezco a mi novia GABRIELA por estar para mí en las buenas y malas, enseñándome que en la vida siempre se puede llegar a triunfar.

Lo que ha atribuye a mi logro, gracias por siempre brindarme su apoyo incondicional aun cuando he querido renunciar me han alentado a seguir.

Gracias de todo corazón por compartir conmigo su tiempo y su vida para llegar a donde me encuentro ahora.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACION .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix

### CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO ..... 1

1.1. Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación .....	3
1.1.3. Fundamentación teórica.....	4
1.1.3.1. Pavimento.....	4
1.1.3.2. Pavimento flexible.....	4
Funciones del pavimento flexible .....	6
Proceso de construcción del pavimento flexible.....	6
1.1.3.3. Material asfáltico.....	7
Propiedades físicas.....	8
Características .....	10
1.1.3.4. Agregados pétreos .....	10
Consideraciones .....	12
Características .....	12



1.1.3.5.	Diseño de mezclas asfálticas tradicionales.....	15
1.1.3.6.	Polímeros.....	18
	Polímero utilizado en modificación de asfaltos .....	19
	Proceso de reciclado .....	20
	Aplicación de plástico.....	20
1.2.	OBJETIVOS.....	22
1.2.1.	Objetivo general .....	22
1.2.2.	Objetivos específicos .....	22
CAPITULO II.- METODOLOGÍA .....		23
2.1.	Materiales .....	23
2.1.1.	Materia prima .....	23
2.1.1.1.	Bitumen .....	23
2.1.1.2.	Plástico reciclado.....	23
2.1.2.	Agregados .....	24
2.1.2.1.	Arena .....	24
2.1.2.2.	Piedra triturada .....	24
2.1.2.3.	Grava triturada.....	24
2.1.3.	Equipos .....	25
2.1.3.1.	Molde de compactación especial de 4” .....	25
2.1.3.2.	Martillo de compactación con zapata circular.....	25
2.1.3.3.	Pedestal de compactación.....	26
2.1.3.4.	Prensa para el ensayo (maquina Marshall).....	26
2.1.3.5.	Equipo de baño María .....	27
2.1.3.6.	Bandejas para calentamiento .....	27
2.1.3.7.	Balanza .....	27
2.1.3.8.	Horno.....	27
2.1.3.9.	Termómetro digital.....	28
2.1.3.10.	Espátula y guantes de cuero .....	28
2.1.3.11.	Tamizadora.....	28

2.1.3.12.	Tamices debidamente enumerados.....	28
2.2.	Métodos.....	30
2.2.1.	Ensayos previos.....	31
2.2.1.1.	Granulometría, Norma INEN 696.....	31
2.2.1.2.	Gravedad específica y absorción de los agregados finos, Norma ASTM C128 (INEN 856).....	32
2.2.1.3.	Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos, Norma ASTM C127 (INEN 857).....	33
2.2.1.4.	Desgaste por abrasión del agregado grueso, Norma AASHTO T96 (ASTM C131) (INEN 860).....	35
2.2.1.5.	Porcentaje caras fracturadas en los agregados, Norma ASTM D5821-95.....	35
2.2.2.	Obtención del plástico (tamizado).....	36
2.2.3.	Diseño del método Marshall para mezcla asfáltica, Norma ASTM D1559.....	36
2.2.3.1.	Preparación de las briquetas.....	37
2.2.3.2.	Compactación de las briquetas asfálticas tradicionales y de las briquetas asfálticas con partículas de plásticos.....	37
2.2.4.	Ensayo de las briquetas asfálticas tradicionales.....	38
2.2.4.1.	Determinación del peso específico “bulk”.....	38
2.2.4.2.	Ensayo de estabilidad y flujo.....	38
2.2.4.3.	Análisis de la densidad y vacíos (Ensayo Rice ASTM D2041).....	39
2.2.5.	Procedimiento de cálculo del método Marshall de briquetas asfálticas tradicionales.....	41
2.2.6.	Curvas de diseño de mezcla asfáltica tradicionales.....	45
2.2.7.	Diseño del método Marshall para mezcla asfáltica modificada, Norma ASTM D1559.....	45
2.2.7.1.	Preparación de briquetas asfáltica modificada.....	45
2.2.7.2.	Procedimiento de briquetas asfáltica modificada.....	45
2.2.7.3.	Procedimiento de cálculo del método Marshall de briquetas asfálticas modificadas.....	46
2.2.7.4.	Curvas de diseño de mezcla asfáltica tradicionales.....	46

2.2.8.	Análisis de resultados de la mezcla asfáltica tradicionales y mezclas asfálticas con partículas de plásticos .....	46
2.3.	Hipótesis.....	48
CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		49
3.1.	Recolección de datos .....	49
3.1.1.	Fuente de extracción de agregados pétreos .....	49
3.1.2.	Ensayos previos .....	49
3.1.2.1.	Granulometría.....	49
3.1.2.2.	Gravedad específica y absorción de los agregados finos, ASTM C127 (INEN 856).....	51
3.1.2.3.	Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos, ASTM C127 (INEN 857).....	52
3.1.2.4.	Desgaste por abrasión del agregado grueso, Norma AASHTO T96 (ASTM C131).....	54
3.1.2.5.	Porcentaje caras fracturadas en los agregados, Norma ASTM D5821-95.....	55
3.1.3.	Método Marshall (Norma ASTM D1559).....	57
3.1.3.2.	Procedimiento de elaboración de briquetas asfálticas.....	57
3.1.4.	Ensayo en las briquetas asfálticas tradicionales .....	58
3.1.4.1.	Ensayo de estabilidad y flujo .....	58
3.1.4.2.	Análisis de la densidad y vacíos.....	59
3.1.4.3.	Procedimiento de cálculo .....	59
3.1.4.4.	Curvas de diseño .....	61
3.1.5.	Diseño de mezcla asfáltica modificada .....	63
3.1.5.1.	Preparación de briquetas .....	63
3.1.5.2.	Ensayo de estabilidad y flujo .....	63
3.1.5.4.	Diseño del cálculo de método Marshall modificada con 15% .....	64
3.1.5.5.	Curvas de diseño de briqueta modificada 15% .....	66
3.1.5.7.	Diseño del cálculo de método Marshall modificada con 20% .....	68

3.1.5.8.	Curvas de diseño de briqueta modificada 20% .....	70
3.1.5.10.	Diseño del cálculo de método Marshall modificada con 20% .....	72
3.1.5.11.	Curvas de diseño de briqueta modificada 25% .....	74
3.2.	Análisis de resultados .....	75
3.2.1.	Análisis de resultados entre mezcla tradicional y mezclas modificadas ...	75
3.2.2.	Interpretación de los resultados .....	77
3.3.	Verificación de hipótesis .....	79
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		80
4.1.	Conclusiones .....	80
4.2.	Recomendaciones .....	80
BIBLIOGRAFÍA .....		82
ANEXOS .....		87
ANEXO A. MÉTODO MARSHALL.....		87
Anexo A.1 Diseño Asfáltico .....		87
ANEXO B. BRIQUETAS ASFÁLTICAS .....		89
Anexo B.1 Material pétreo.....		89
Anexo B.2 Elaboración de Briquetas .....		89
ANEXO C. ENSAYOS DE LABORATORIO.....		92
Anexo C.1 Oficio de prestación de laboratorio Ilustre Municipalidad de Ambato ...		92
Anexo C.2 Ensayo de estabilidad.....		93
Anexo C.3 Ensayo de máquina de vacíos .....		94
ANEXO D. RESULTADOS .....		95
Anexo D.1 Resultado del Método RICE (Tradicional con 6%).....		95
Anexo D. 2 Resultado del Método RICE (Tradicional con 6,5%).....		96
Anexo D. 3 Resultado del Método RICE (Tradicional con 7%).....		97
Anexo D. 4 Método de abrasión de la cantera .....		98

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Figura 1.-</b> Sección transversal de un pavimento flexible .....	5
<b>Figura 2.-</b> Comportamiento del material asfáltico .....	8
<b>Figura 3.-</b> Esquema fabricación de las mezclas Vía Húmeda.....	22
<b>Figura 4.-</b> Proceso de trituración en PET .....	24
<b>Figura 5.-</b> Molde para compactación método Marshall .....	25
<b>Figura 6.-</b> Martillo de compactación.....	26
<b>Figura 7.-</b> Pedestal de compactación.....	26
<b>Figura 8.-</b> Prensa de ensayo .....	27
<b>Figura 9.-</b> Curva de granulometría.....	50
<b>Figura 10.-</b> Peso específico Bulk/Contenido de asfalto .....	61
<b>Figura 11.-</b> Índice de vacíos en aire/ contenido de asfalto.....	62
<b>Figura 12.-</b> Estabilidad / contenido de asfalto.....	62
<b>Figura 13.-</b> Flujo o deformación/contenido de asfalto.....	62
<b>Figura 14.-</b> Peso específico Bulk/Contenido de asfalto .....	66
<b>Figura 15.-</b> Índice de vacíos en aire/ /Contenido de asfalto.....	67
<b>Figura 16.-</b> Estabilidad/Contenido de asfalto.....	67
<b>Figura 17.-</b> Flujo o deformación/contenido de asfalto.....	67
<b>Figura 18.-</b> Peso específico Bulk/Contenido de bitumen.....	70
<b>Figura 19.-</b> Índice de vacíos en aire/Contenido de Asfalto.....	70
<b>Figura 20.-</b> Estabilidad/Contenido de asfalto.....	71
<b>Figura 21.-</b> Flujo o deformación/contenido de asfalto.....	71
<b>Figura 22.-</b> Vacíos en Agregados Minerales/Contenido de Asfalto .....	74
<b>Figura 23.-</b> Índice de vacíos en aire/Contenido de bitumen .....	74
<b>Figura 24.-</b> Estabilidad/Contenido de asfalto.....	75
<b>Figura 25.-</b> Flujo o deformación/contenido de asfalto.....	75
<b>Figura 26.-</b> Comparación de resultados de estabilidad .....	78
<b>Figura 27.-</b> Comparación de resultados de flujo o deformación.....	78
<b>Figura 28.-</b> Comparación de resultados de vacíos con aire.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Capas constitutivas de un pavimento flexible.....	5
<b>Tabla 2.-</b> Porcentaje de peso por tamices .....	11
<b>Tabla 3.-</b> Tamaño del agregado por ensayo .....	13
<b>Tabla 4.-</b> Tipos de abrasión .....	13
<b>Tabla 5.-</b> Cantidades según el tamaño nominal.....	14
<b>Tabla 6.-</b> Criterio de diseño de mezclas Marshall.....	16
<b>Tabla 7.-</b> Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA) .....	16
<b>Tabla 8.-</b> Terminología para uso del polietileno reciclado en mezcla asfáltica .....	21
<b>Tabla 9.-</b> Valores estandarizados de ensayo granulométrico .....	29
<b>Tabla 10.-</b> Factores de estudio .....	29
<b>Tabla 11.-</b> Granulometría .....	31
<b>Tabla 12.-</b> Factor de corrección de constante K (temperatura).....	33
<b>Tabla 13.-</b> Tamaños, peso de las muestras .....	40
<b>Tabla 14.-</b> Criterio de diseño.....	47
<b>Tabla 15.-</b> Porcentaje de vacíos de agregado mineral.....	48
<b>Tabla 16.-</b> Granulometría de agregados pétreos.....	50
<b>Tabla 17.-</b> Gravedad específica y absorción agregado fino .....	52
<b>Tabla 18.-</b> Gravedad específica y absorción agregado grueso .....	54
<b>Tabla 19.-</b> Ensayo de abrasión .....	55
<b>Tabla 20.-</b> Porcentaje de caras fracturadas.....	56
<b>Tabla 21.-</b> Contenido de porcentajes de agregados pétreos .....	57
<b>Tabla 22.-</b> Criterio Marshall.....	58
<b>Tabla 23.-</b> Valor RICE de briquetas asfálticas tradicional.....	59
<b>Tabla 24.-</b> Método Marshall briqueta tradicional.....	60
<b>Tabla 25.-</b> Ensayo RICE briquetas modificadas con el 15% .....	64
<b>Tabla 26.-</b> Método Marshall con briquetas modificadas con 15% .....	65
<b>Tabla 27.-</b> Ensayo RICE briquetas modificadas con el 20% .....	68
<b>Tabla 28.-</b> Método Marshall con briquetas modificadas con 20% .....	69
<b>Tabla 29.-</b> Ensayo RICE briquetas modificadas con el 25% .....	72
<b>Tabla 30.-</b> Método Marshall con briquetas modificadas con 25% .....	73
<b>Tabla 31.-</b> Relación de resultados .....	76

**Tabla 32.-** Criterio de comparación..... 76

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación [1]</b> Peso suelo seco (A): .....	32
<b>Ecuación [2]</b> Gravedad específica: .....	32
<b>Ecuación [3]</b> Cálculo de la gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS) .....	33
<b>Ecuación [4]</b> Cálculo de la gravedad específica aparente de las partículas secas .....	33
<b>Ecuación [5]</b> Cálculo del porcentaje de absorción mediante la siguiente: .....	33
<b>Ecuación [6]</b> Peso suelo seco (A): .....	34
<b>Ecuación [7]</b> Gravedad específica: .....	34
<b>Ecuación [8]</b> Gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS) mediante la siguiente: .....	34
<b>Ecuación [9]</b> Gravedad específica aparente de las partículas secas .....	34
<b>Ecuación [10]</b> Porcentaje de absorción mediante la siguiente: .....	34
<b>Ecuación [11]</b> Porcentaje de desgaste.....	35
<b>Ecuación [12]</b> Porcentaje de caras fracturadas .....	36
<b>Ecuación [13]</b> Peso inicial .....	39
<b>Ecuación [14]</b> Peso con frasco.....	39
<b>Ecuación [15]</b> Peso de la muestra.....	40
<b>Ecuación [16]</b> Medida del vacío .....	40
<b>Ecuación [17]</b> Peso de aire de la muestra .....	40
<b>Ecuación [18]</b> Peso Bulk .....	41
<b>Ecuación [19]</b> Peso específico máximo.....	41
<b>Ecuación [20]</b> Cálculo del porcentaje de volumen .....	42
<b>Ecuación [21]</b> Cálculo del porcentaje de vacíos en aire al total del volumen .....	42
<b>Ecuación [22]</b> Cálculo del porcentaje de vacíos en aire .....	42
<b>Ecuación [23]</b> Cálculo del volumen de asfalto efectivo .....	42
<b>Ecuación [24]</b> Cálculo del porcentaje de vacíos por agregado pétreo.....	42
<b>Ecuación [25]</b> Cálculo del contenido de bitumen efectivo al peso.....	43
<b>Ecuación [26]</b> Cálculo del porcentaje de vacíos llenos de asfalto.....	43
<b>Ecuación [27]</b> Valores de la estabilidad .....	44
<b>Ecuación [28]</b> Peso suelo seco:.....	51
<b>Ecuación [29]</b> Peso del picnómetro + agua + suelo seco: .....	51



<b>Ecuación [30]</b> Desplazamiento del agua: .....	51
<b>Ecuación [31]</b> Gravedad específica: .....	51
<b>Ecuación [32]</b> Gravedad específica aparente de las partículas secas .....	51
<b>Ecuación [33]</b> Gravedad específica aparente de las partículas secas .....	51
<b>Ecuación [34]</b> Porcentaje de absorción.....	52
<b>Ecuación [35]</b> Peso suelo seco (A): .....	53
<b>Ecuación [36]</b> Peso suelo SSS (B):.....	53
<b>Ecuación [37]</b> Peso suelo sumergido (C): .....	53
<b>Ecuación [38]</b> Gravedad específica: .....	53
<b>Ecuación [39]</b> Gravedad específica aparente de las partículas secas .....	53
<b>Ecuación [40]</b> Gravedad específica aparente de las partículas secas .....	53
<b>Ecuación [41]</b> Porcentaje de absorción.....	53

## RESUMEN

La presente investigación experimental, tiene el propósito principal de la comparación de una mezcla asfáltica con adición de partículas de plástico reciclado de botellas, sin tapa ni etiqueta con un tamaño de hojuela de 0,30 mm de diámetro y la mezcla asfáltica tradicional. Mediante el diseño de Marshall para Mezclas Bituminosas Asfálticas de acuerdo a las normas AASHTO T245, ASTM D 1559, AASHTO T225, con el fin de analizar los resultados obtenidos en el laboratorio de la Municipalidad de Ambato.

Las partículas de plástico reciclado se adicionaron a la mezcla asfáltica en caliente previamente tamizada, con el que se determinó las características físicas y mecánicas de asfalto modificado con 15, 20 y 25 por ciento.

Se realizaron ensayos previos a los agregados pétreos de la cantera propiedad de la Constructora Alvarado CÍA LTDA, indicando valores óptimos. Las características específicas de la mezcla asfáltica tradicional cumplen con los parámetros de acuerdo a la MOP-2002 en estabilidad óptima de 1650 libras, relación de vacío 4 por ciento y flujo de 11 pulgadas para método Marshall; el contenido óptimo de bitumen para los agregados pétreos fue de 6,5 por ciento de bitumen.

Una vez realizado los diferentes porcentajes de adición, el de 15 por ciento de plástico reciclado determinó, una estabilidad óptima de 4220 libras, relación de vacío al 4 por ciento y flujo o deformación de 14 pulgadas, para tráfico pesado. Estos valores equivalen al porcentaje óptimo que satisfacen las especificaciones mecánicas de Marshall.

**Palabras claves:** Material plástico, Método Marshall, Constructora Alvarado, Pavimentos flexibles, plástico reciclado.

## ABSTRACT

The main purpose of this experimental investigation is to compare an asphalt mixture with the addition of recycled plastic particles from bottles, without cap or label, with a flake size of 0.30 mm in diameter and the traditional asphalt mixture. By means of the Marshall design for Asphalt Bituminous Mixes according to AASHTO T245, ASTM D 1559, AASHTO T225 standards, in order to analyze the results obtained in the laboratory of the Municipality of Ambato.

The recycled plastic particles were added to the previously screened hot mix asphalt, with which the physical and mechanical characteristics of 15, 20 and 25 percent modified asphalt were determined.

Previous tests were carried out on the stone aggregates from the quarry owned by Constructora Alvarado CÍA LTDA, indicating optimum values. The specific characteristics of the traditional asphalt mix comply with the parameters according to the MOP-2002 in optimum stability of 1650 pounds, vacuum ratio 4 percent and flow of 11 inches for Marshall method; the optimum bitumen content for the stone aggregates was 6.5 percent bitumen.

Once the different addition percentages were performed, the 15 percent recycled plastic percentage determined an optimum stability of 4220 pounds, 4 percent vacuum ratio and flow or deformation of 14 inches for heavy traffic. These values are equivalent to the optimum percentage meeting Marshall's mechanical specifications.

**Key words:** Plastic material, Marshall Method, Constructora Alvarado, Flexible pavements, Recycled plastic.

## **CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Antecedentes Investigativos**

#### **1.1.1. Antecedentes**

El gran sistema de carreteras de nuestra civilización se creó en un período anterior a la historia registrada. Incluso antes de la invención de la rueda, que debería haber ocurrido hace 10.000 años, el movimiento individual y colectivo de personas de un lugar a otro. El primer movimiento fue caminar, luego usar el siguiente objeto, y luego aparecieron los vehículos con ruedas. Algunas civilizaciones antiguas alcanzaron un alto nivel de tecnología en la construcción de líneas de comunicación. Las calles de Babilonia fueron pavimentadas en el año 2000 a.C. También es conocido como Dai Duong, construido por los egipcios en el año 3000 a.C [1].

El mayor logro del sistema vial lo lograron los romanos en el 220 a. C., cuando el Imperio Romano estaba en su apogeo y la vasta red de caminos militares cubría todo el imperio, muchos de estos caminos construidos en piedra, algunos de los cuales han sido caracterizados por su espesor de 90 a 120 cm, constituidos por tres capas de estuco cada vez más fino, rematadas con una capa de piedra [2]. Con la caída del Imperio Romano medieval (siglos X al XV), el desarrollo y la construcción de caminos cesó durante mucho tiempo. El interés por las líneas de comunicación revivió en Europa a finales del siglo XVIII [3].

Durante el período de Tresaguet, un ingeniero francés propuso el uso de piedra triturada como base, cubierta con piedras más pequeñas, para hacer caminos. Mientras tanto, en Inglaterra, dos ingenieros británicos, Thomas Telford y John Mc'Adam, están desarrollando tipos de construcción similares, y Telford sugiere usar bloques de feldespatos para los cimientos y piedras más pequeñas para el proceso abrasivo. Mc'Adam recomienda usar polvo de piedra fino. Este tipo de construcción todavía se usa en la actualidad y se ha convertido en el precursor de los tipos de pavimento [4]. El camino concreto fue construido en 1890, con la invención de un vehículo a motor dado que requería de carreteras que tuviera cierto ancho, comodidad y seguridad.

En 1900, Frederick J. Warren patentó sus primeras mezclas de asfalto caliente para la superficie. En estos años, no es importante para su calidad o tratamiento material, de hecho, su elección es la plena responsabilidad de los ingenieros para abordar estas complicaciones, se basó en una empresa estadounidense [5].

En cuanto a Contreras y Zúñiga (2020) explican en su investigación que todas las especificaciones generales se cumplen al agregar plástico a la mezcla asfáltica modificada, lo que da como resultado 6,00 % de betún y 1,00 % de resina agregada a la relación de partículas finas que proporciona estabilidad. 4600 libras, 9,00 (0,01") y 3,00 % de porosidad.

Según el análisis de investigación, el tereftalato de polietileno (PET) es el material de prueba más utilizado. por kilómetro En comparación con el primer supuesto concreto mostrado, la carretera muestra una demanda de 3,18 toneladas de PET, 2,56 toneladas de HDPE, 3,56 toneladas de PP y 2,33 toneladas de PS [6].

De acuerdo a la investigación de Calderón (2018) indica que la estabilidad de las mezclas modificadas es mayor, casi el doble que la de los modelos estándar, pero todas cumplen con la estabilidad del Marshall Premium Traffic Asphalt que según la Especificación General para la Construcción del puente debe tener una masa de al menos 1,800 libras. Además que el Reglamento Técnico General de Construcción de Carreteras y Puentes, la tasa de vacíos de aire en la capa asfáltica debe ser del 3% al 5%; tenga en cuenta que solo son elegibles las mezclas modificadas con un 3 % de plástico reciclado [7].

Finalmente, Aimacaña (2017) manifiesta que al procesar el polímero (polietileno PE), utilizando una trituradora de mandíbula, puede obtener un tamaño adecuado de 0,6 mm a 15 mm, que se puede obtener en la mezcla de asfalto como porcentaje de una pequeña unidad.

La estabilidad obtenida por una mezcla tradicional de 5500, con un recurso de 6.5% de asfalto y mezclas mixtas con valor nominal del 1% de PE cemento es de 4,600, con un contenido de 6.0% de brotes de bambú de asfalto de 6.0% y, esa es la mejor negativa. Mezcla óptima de asfalto, un polímero al 1% modificado probado,

determinado con un espesor del 60%, 39% de rellenos precisos, 1% de polímero y 6,0% de asfalto. [8]

### **1.1.2. Justificación**

La utilización diaria de las vías por consecuencia y soporte del tráfico refleja el deterioro vial, dado que estos inconvenientes y fallas que generan disminución tanto efectiva como de duración provocando la inutilidad de la carpeta asfáltica en varios sectores e incluso que por el tiempo de restauración se evite realizar y como último solo realizar rellenos que alarguen la vida útil del mismo.

Es así que se busca soluciones prácticas para el aprovechamiento adecuado y efectivo mediante el diseño e implementación de un tipo de mezcla asfáltica con adición de plástico reciclado que mejore las propiedades mecánicas de estabilidad, relación de vacíos y flujo. Además de aportar al medioambiente una reducción de desperdicios plásticos que contaminan cada rincón del planeta provocando daños y perdurando en la naturaleza.

A fin de cumplir con las necesidades de construcción vial y de las exigencias del tránsito de las ciudades como de la demanda de los usuarios; puesto que, al contar con los requerimientos de productos de mayor eficiencia a la acción del tránsito vehicular, y de una alternativa de pavimentación económica en obras de infraestructura vial. Así, se ideó una solución común al problema de los residuos plásticos y a la necesidad de un mejor rendimiento del asfalto.

El presente estudio permitirá mejorar las propiedades mecánicas de los materiales bituminosos, reducir el consumo de asfaltos y áridos, y obtener materias primas para nuevos productos. A medida que el tráfico y diversos factores ambientales aumentan la demanda de productos con propiedades mejoradas, se han desarrollado procesos y formulaciones para la producción sostenible de asfalto mediante la adición de polímeros.

Encontrando nuevas formas de empleo en la industria de la construcción adoptando un enfoque ecológico de los materiales reciclados. En particular, el proyecto tiene como objetivo desarrollar una mezcla asfáltica modificada que contenga plástico reciclado,

proporcionando así una alternativa para reevaluar los beneficios ambientales de este residuo en la construcción de carreteras.

### **1.1.3. Fundamentación teórica**

#### ***1.1.3.1. Pavimento***

Es una estructura ubicada en el suelo de fundación (subrasante) e incluye una o más capas construidas con materiales seleccionados y procesos constructivos (asignados y monitoreados), con funciones claves que se adapte al esfuerzo a la subrasante de manera adecuada [9].

Las mezclas de asfalto incluyen materiales pétreos (agregados) y asfálticos (ligantes). La dosis de material asfáltico – agregado es importante y requiere un control muy estricto. Dado que la mezcla con exceso de asfalto (resina) causa una superficie inestable y un contenido bajo, además produce una capa áspera que tiende a disminuir a desaparecer, reduciendo sus capacidades de impermeabilidad y su durabilidad. Hay varios tipos pavimentos: flexibles, duras, dispersas, mezcladas, de adoquines y semi-rígidos [10].

Las condiciones necesarias para que la carretera sea completamente funcional son, en primer lugar, el ancho, las líneas horizontales y verticales, la capacidad de carga suficiente para evitar fallas prematuras y la adherencia suficiente, incluso en condiciones húmedas [11].

#### ***1.1.3.2. Pavimento flexible***

Son construcciones con una capa de hormigón asfáltico-cemento. Por la forma en que se transfiere la carga del pavimento al subsuelo, se denomina pavimento flexible. El asfalto no absorbe toda la carga del vehículo, es un propulsor. Por esta razón, el pavimento flexible a menudo requiere más capas intermedias entre la capa de desgaste y la capa de relleno, y en el tabla se muestra la estructura de un pavimento flexible tradicional [12].

**Tabla 1.-** Capas constitutivas de un pavimento flexible

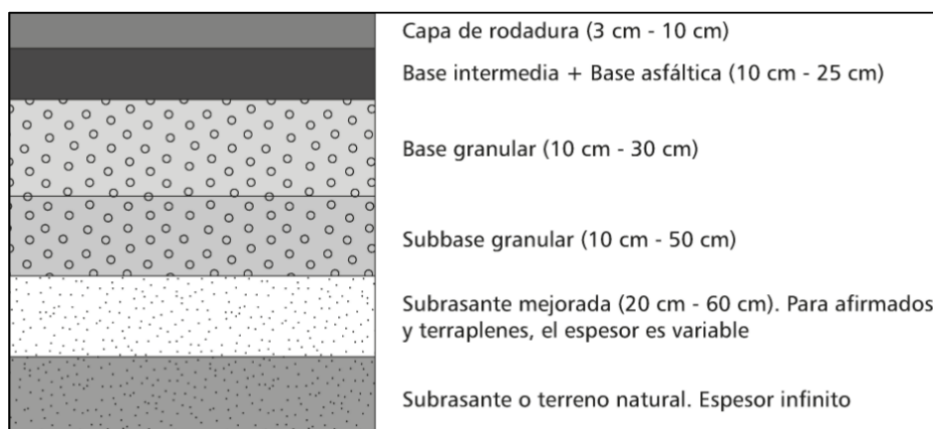
Carpeta asfáltica	Carpeta asfáltica
Base	Base
Sub-base	Sub-base
Subrasante	Subrasante mejorada
	Subrasante

**Fuente:** Formación de una capa constitutiva en un pavimento flexible. Campagnoli et al., (2016)

Se define por una serie de capas sucesivas, una sobre otra, aplicadas sobre la capa base, cada una de las cuales debe ser compactada antes que la siguiente, todas siguiendo un proceso específico. Debe corresponder a la capacidad de carga, todas ellas diseñadas estructuralmente antes de la construcción, y la carga aplicada al pavimento no debe exceder la capacidad portante máxima de la cimentación.

Su capa de rodadura debe ser lo más regular posible, su tarea principal es proporcionar al conductor comodidad de conducción. Antes del diseño, la superficie de la carretera también debe tener un sistema de drenaje: bomba y pendiente.

**Figura 1.-** Sección transversal de un pavimento flexible



**Fuente:** Sección transversal de un pavimento flexible. Pérez (2016).

- Capa de rodadura: Esta es la capa de la carretera que consiste en una mezcla de roca y asfalto como base para esos tipos de pavimento. El asfalto es un material de diferente consistencia, que se caracteriza por un color más oscuro. Uno de los componentes más importantes del betún es el betún a base de petróleo crudo, que tiene un efecto aglutinante.



- Base granular: Su función principal es la de transferir y distribuir las cargas a las capas inferiores levantadas por el pavimento: subbase y subcapa.
- Sub-base granular: Es la capa de partículas que actúa como filtro para evitar que las partículas finas entren a dañar el sub-sustrato, es la última capa antes de la capa sub-sub-base, el sub-contrapiso debe llevar una mayor carga disiparía para activar la superficie de la carretera.

El propósito de cada una de las capas anteriores es disipar la carga que puede soportar el paquete de construcción. Para lograr un CBR más bajo en la parte inferior. El grosor de cada capa y su finalidad dependerán del diseño anterior [13].

### **Funciones del pavimento flexible**

**Estructural:** Esta capa se diseñará y construirá para soportar la fatiga y la acumulación de deformaciones permanentes debidas a las cargas cíclicas repetidas del vehículo a lo largo del tiempo.

**Funcional:** Esta capa recibe directamente las cargas de tráfico sobre la superficie de la carretera, por lo que debe diseñarse y construirse de manera que la flota pueda moverse con comodidad y seguridad durante su vida útil.

**Impermeabilización:** Esta capa evita la penetración directa de agua en la capa subyacente, lo que limita la pérdida de resistencia al corte que el lecho rocoso y las partículas del lecho rocoso pueden experimentar a medida que aumenta la saturación del material constituyente [14].

### **Proceso de construcción del pavimento flexible**

1. Preparación de la subrasante
2. Compactación de la subrasante
3. Barrido de la superficie
4. Imprimación del ligante bituminoso sobre la superficie
5. Colocación del asfalto sobre la superficie, con la ayuda de una maquina terminadora
6. Controles de calidad
7. Compactación de la superficie con compactadora neumático o rodillo liso

8. Realización de juntas transversales o longitudinales (de ser necesario). [15]

### ***1.1.3.3. Material asfáltico***

Los materiales bituminosos, comúnmente conocidos como betún, están compuestos por un conjunto de fases orgánicas de alto peso molecular que les otorgan propiedades como viscosidad, cohesión, color y estabilidad química.

Asfáltenos: 5% a 25% de asfalto. Esta es la etapa más pesada y está compuesta principalmente por sólidos negros y amorfos que, además de carbono e hidrógeno, también contienen nitrógeno, azufre y oxígeno. Esta fase consta de compuestos aromáticos muy polares con pesos moleculares que van de 4000 g/mol a 7000 g/mol.

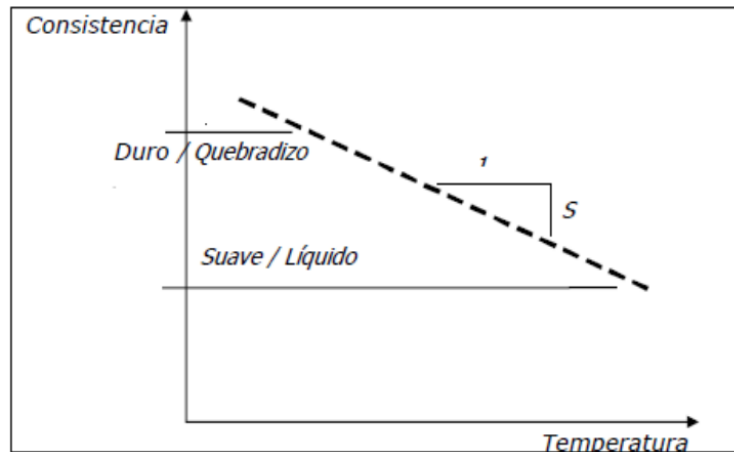
Máltenos: Es una fase bituminosa ligera con un peso molecular de 700 g/mol a 4000 g/mol. En general, se puede decir que esta etapa diluye el asfalto, se presentan como micelas o agregados coloidales difusos. Máltenos se divide en:

- Resinas (plástico): constituye del 15% al 25% del asfalto. Es una relación de hidrocarburos aromáticos polares tienen masas moleculares entre 800 y 2000 g/mol. Son sustancias pegajosas, oscuras, espesas o semisólidas. La relación betún/asfalto determina las propiedades reológicas del betún (sol o gel).
- Cíclico: Son la fase de menor peso molecular (entre 2000 y 4000 g/mol). Es un dispersante asfáltico, cubriendo del 45% al 60% del betún. Los compuestos de esta fase son cadenas de naftaleno.
- Saturada: Está formada por hidrocarburos alifáticos con un peso molecular de 600 a 1000 g/mol. Constituye del 5% al 20% del asfalto.

Cabe mencionar que el betún utilizado con el polímero debe tener un bajo contenido de asfalto y una cantidad suficiente de aceite aromático para que el polímero se disuelva parcialmente a la temperatura de mezcla [7].

## Propiedades físicas

Figura 2.-Comportamiento del material asfáltico



**Fuente:** Principios de construcción de mezclas asfálticas en caliente. Asphalt Institute.

Las propiedades físicas más importantes del material asfáltico en el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

- **Durabilidad:** es una medida de la resistencia del betún para conservar sus propiedades originales en condiciones normales de descomposición y envejecimiento. Esta es una característica que se evalúa principalmente sobre las características del pavimento, por lo que es difícil determinarla basándose únicamente en las características del asfalto. Esto se debe a que el rendimiento del pavimento está influenciado por el diseño de la mezcla, las características de la pendiente, el trabajo de construcción y otras variables, incluida la resistencia del asfalto.
- **Adhesión:** La adhesión se refiere a la capacidad del betún para adherirse al agregado en la mezcla de revestimiento. La pegajosidad se refiere a la capacidad del asfalto para retener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado.
- **Susceptible a la temperatura:** todos los betunes son termoplásticos, se vuelven pegajosos (más duros) a medida que la temperatura disminuye y más viscosos (más suaves) a medida que aumenta la temperatura. Esta propiedad, conocida como sensibilidad a la temperatura, es una de las propiedades más valiosas del betún. La sensibilidad a la temperatura varía con el betún de

diferentes fuentes de petróleo, pero el betún mantiene el mismo grado de densidad.

Su implicación es que el betún debe ser lo suficientemente líquido a altas temperaturas para cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, permitiéndoles moverse entre sí durante la compactación. Luego, a temperatura ambiente normal, se volverá lo suficientemente pegajoso como para mantener juntas las partículas.

- **Endurecimiento y envejecimiento:** El asfalto tiende a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento se debe principalmente a la oxidación (combinación de betún con oxígeno) y es más probable que ocurra a temperaturas elevadas (como las temperaturas de diseño) y en capas bituminosas (como el revestimiento de partículas de agregado).

El asfalto se encuentra en un estado de película delgada y se aplica a alta temperatura a las partículas de agregado durante la mezcla, lo que hace que el proceso de mezcla sea más severo. El asfalto continúa endureciéndose en la superficie de la carretera después de que se completa la construcción. Nuevamente, la razón principal es la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden retrasarse si se retiene una pequeña cantidad de vacíos interconectados (aire) en el pavimento terminado junto con una gruesa capa de asfalto que cubre los agregados.

- **Pureza:** El cemento asfáltico se compone principalmente de betún, que por definición es completamente soluble en disulfuro de carbono.

Aproximadamente el 99,5 % del betún refinado es soluble en disulfuro de carbono y, si contiene impurezas, es inerte. El cemento asfáltico a menudo carece de agua porque se pierde durante el refinado. Cuando no pierde toda su agua, hace espuma cuando se calienta por encima de los 100°C. La limpieza del cemento asfáltico está determinada por la ausencia de humedad y de impurezas [16].

## **Características**

Dependen de su estructura y composición química, pero debido a su complejidad, estos materiales se caracterizan mediante estudio experimental para evaluar las propiedades por las que deben ser utilizados como adhesivos en la construcción de carreteras.

Las características básicas que debe tener el asfalto cuando se utiliza en carretera son:

- **Propiedades termoplásticas:** bajo la influencia de la temperatura, su consistencia debe disminuir para que el agregado se humedezca y se adhiera, y después del enfriamiento debe recuperar su consistencia original y dar a la mezcla una consistencia cohesiva.
- **Buenas propiedades geológicas y mecánicas:** resistir los esfuerzos del tráfico rodado y mantener la temperatura utilizada en la estructura de la mezcla asfáltica.
- **Resistir al envejecimiento:** Soporta las condiciones climáticas y ambientales para mantener sus propiedades en el tiempo.

En resumen, las propiedades básicas que debe tener el betún son: adherencia a los áridos, buenas propiedades geológicas y resistencia al envejecimiento [17].

### ***1.1.3.4. Agregados pétreos***

Estos son agregados que se utilizan para producir concreto asfáltico utilizando equipos de esparcimiento o equipos similares para mezclar con asfalto. Suelen consistir en partes rugosas, partes intermedias, arenas y rellenos minerales u otras variaciones según las características de la fuente minera. Preferiblemente, deben ser material aluvial, que luego se triturará para que coincida con las especificaciones de tamaño de partícula requeridas. Estos materiales deben ser fuertes y duraderos, libres de materiales extraños o finos que puedan reducir la afinidad por el asfalto [9].

Los agregados que consisten en piedra triturada, grava o piedra natural, arena y otras partículas cumplen con los requisitos de clasificación y se dividen en categorías "A", "B" y "C" según lo establecido a continuación:

- Grado A: se refiere al árido obtenido de la molienda de todas las partículas que componen el árido grueso. El agregado fino puede ser arena natural o material triturado, se pueden agregar rellenos minerales según sea necesario para cumplir con los requisitos de clasificación anteriores. Este relleno mineral puede incluir cemento Portland especifica en la obra.
- Grado B: significa al menos el 50% de las partículas que componen el árido grueso obtenido por molienda. Los agregados finos y los rellenos minerales pueden pulverizarse u obtenerse de depósitos naturales, según la disponibilidad de dichos materiales en el área del proyecto.
- Grado C: que se usa en el concreto asfáltico es agregado natural o agregado triturado, dependiendo de la disponibilidad local, siempre que se haya determinado que la estabilidad medida por la prueba de Marshall está dentro de los límites especificados [18].

El agregado deberá ser de segmentos duros, resistente a la corrosión y limpio, además de estar cubierto con vegetación y partículas planas, alargadas, blandas o percederas y material mineral cubierto con arcilla u otro material inconveniente. Se utilizará árido completamente seco, si esto no es posible, se instalarán dos secadores en serie para que el árido tenga un contenido de humedad no superior al 1% al final de la operación de mezclado [18].

**Tabla 2.-** Porcentaje de peso por tamices

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
1" (25, 4 mm)	100	---	---
¾" (19,0 mm)	90-100	100	----
½" (12,5 mm)	--	90-100	100
3/8" (9,5 mm)	56-80	---	90-100
Nº4 (4,75 mm)	35-65	44-74	56-85
Nº8 (2,36 mm)	23-49	28-58	32-67
Nº16 (1,18 mm)	--	--	--
Nº30 (0,60 mm)	--	--	--
Nº50 (0,30 mm)	5-19	5-21	7-23
Nº100 (0,15 mm)	--	--	--
Nº200 (0,075 mm)	2-8	2-10	2-10

**Fuente:** Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002

## Consideraciones

Cuando se pretende utilizar agregados para la construcción de pavimentos, se deben considerar varios aspectos básicos de buenas propiedades al momento de formar componentes de varias capas de pavimento, principalmente cuando se preparan mezclas asfálticas.

1. Propiedades e identificación: Evaluación de la porosidad, grado de cambio en la composición mineral, porosidad y propiedades químicas de los áridos.
2. Propiedades geométricas: principalmente la forma y ángulo de las partículas e investiga la estructura mineral general y la distribución del tamaño de grano.
3. Propiedades mecánicas: incluidos los parámetros básicos de abrasión y pulido.
4. Ausencia de impurezas: Los áridos utilizados en la construcción de pavimentos deben estar libres de contaminación que afecten las buenas propiedades de la capa. El uso de áridos sucios en la construcción de pavimentos puede ser la principal causa de su deterioro.
5. Consistencia: Por lo tanto, se debe evaluar el potencial de degradación de la roca que se utilizará en el trabajo, por lo que los materiales evolucionados deben usarse con extremo cuidado para evitar cualquier comportamiento inusual que pueda afectar la viabilidad de la clase.
6. Adhesión: La piedra se debe unir con el ligante asfáltico que se usa para la construcción del pavimento, si hay algún problema de afinidad, se debe usar un activador para asegurar el buen funcionamiento del pavimento. mezcla bituminosa [19].

## Características

### Agregado grueso

- **Análisis granulométrico ASTM D 5821-95:** (Método estándar para analizar el porcentaje del área total de fisura). El propósito de esta prueba es maximizar la resistencia al corte a medida que aumenta la fricción intergranular. Otro propósito es asegurar la estabilidad del agregado usado para relleno o pavimentación, y proporcionar la fricción y textura del agregado usado para pavimentar. La forma de las partículas de agregado afecta su trabajabilidad

durante la colocación, así como la cantidad de fuerza requerida para comprimirlas a la densidad deseada y la resistencia estructural del agregado [20].

**Tabla 3.-** Tamaño del agregado por ensayo

<b>Tamaño del agregado</b>	<b>Peso en g</b>
37,5 a 25,0 mm (1 ½" a 1")	2000
25,4 a 19,0 mm (1" a ¾")	1500
19,0 a 12,5 mm (¾" a ½")	1200
12,5 a 9,5 mm (½" a 3/8")	300

**Fuente:** Adaptation de Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO 1998. VOL. 2

- **Prueba de abrasión ASTM C-131:** (Método estándar para el análisis de abrasión de agregados gruesos para máquinas de Los Ángeles). Este método se utiliza para determinar la resistencia a la abrasión de agregados naturales o en polvo utilizando una máquina Los Ángeles. Durante la fabricación, colocación y compactación del pavimento, especialmente durante la vida útil del pavimento, el árido debe ser resistente al desgaste y al deterioro irreversible [20].
- **ASTM C-131 o AASHTO T-96 y ASTM C-535:** Mide la resistencia al desgaste y/o abrasión de contactos compuestos. El consumo máximo permitido es del 35%. Hay 4 estilos de uso dependiendo del material [20].

**Tabla 4.-** Tipos de abrasión

<b>Tipo</b>	<b>Retenido</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Nº de esferas</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>A</b>	1", ¾", ½" y 3/8"	1250 ± 10	12	500	17
<b>B</b>	½" y 3/8"	1250 ± 10	11	500	17
<b>C</b>	¼" y # 4	1250 ± 10	8	500	17
<b>D</b>	# 8	1250 ± 10	6	500	17

**Fuente:** Adaptation de Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO 1998. VOL. 2



- **ASTM C-127 Gravedad específica:** (Método estándar para la determinación de la gravedad específica y absorbancia de agregados gruesos). El propósito de esta prueba es determinar la gravedad específica aparente y la "masa", así como la capacidad de absorción de agua del agregado grueso, expresada como porcentaje de masa, después de la inmersión en agua durante 24 horas. La cantidad mínima a ensayar depende del tamaño máximo nominal del árido [20].

**Tabla 5.-** Cantidades según el tamaño nominal

<b>Tamaño máximo nominal</b>		<b>Cantidad mínima de muestra</b>
<b>mm</b>	<b>pulg</b>	<b>Kg</b>
Hasta 12,5	½	2
19,0	¾	3
25,0	1	4
37,5	1 ½	5
50,0	2	8
63,0	2 ½	12
75,0	3	18
90,0	3 ½	25

**Fuente:** Adaptation de Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO 1998. VOL. 2

- **Partículas plano y alargado ASTM D-4791:** (partículas planas o alargadas en el agregado). Se definen como partículas con un tamaño final inferior a 0,6 veces el tamaño medio y partículas superiores a 1,8 veces el tamaño medio, respectivamente. A los efectos de esta prueba, el tamaño medio se define como el tamaño medio entre dos orificios de 1" a 3/4", de 3/4" a 1/2", de 1/2" a 3/8", etc. Entre los agregados durante el tamizado [20].

### **Agregado fino**

- **Equivalente de arena ASTM D-2419:** Este método de prueba determina el valor experimental de la cantidad relativa, la finura y la identidad del material granular presente en una muestra de prueba, incluido el suelo granular que pasa por el tamiz 4 (4,75 mm). El término "equivalente de arena" significa que la mayoría de los suelos granulares y de grano fino son una mezcla de suelos de grano grueso, arenosos y, a menudo, de grano fino.
- **Determinación de la densidad de agregados finos ASTM C-128:** Esta prueba está diseñada para determinar la gravedad específica aparente y la

cantidad de agua absorbida por el grano fino después de 24 h de inmersión en agua, expresada como porcentaje de masa.

- **Análisis de tamaño de partículas ASTM D-422:** El propósito del análisis del tamaño de partícula es asegurar que las partículas del agregado estén dentro de un cierto rango de tamaño y que cada tamaño de partícula esté presente en una cierta proporción en el recubrimiento. La distribución de diferentes tamaños de partículas en este conjunto a menudo se denomina clasificador compuesto o graduación de mezcla [8].

#### *1.1.3.5. Diseño de mezclas asfálticas tradicionales*

El método también proporciona información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y determina la densidad óptima y el contenido de vacíos que se deben cumplir durante la construcción del pavimento. El método Marshall se aplica únicamente a mezclas asfálticas (calientes) para carreteras que utilizan cemento asfáltico clasificado por permeabilidad o viscosidad y que contienen tamaños de agregados de hasta 25 mm (1 pulgada).

Se puede utilizar para diseño de laboratorio o pruebas de pavimento de campo. Utilice muestras con un diámetro de 64 x 102 mm. Se preparan una serie de muestras según un procedimiento específico, cada una con la misma composición de áridos, pero con diferente contenido de betún. Las dos características más importantes sobre el diseño híbrido de Marshall son:

- Verificar la estabilidad y fluidez del concentrado.
- Análisis del factor de densidad de vacíos.

La muestra compactada a martillo dependerá del movimiento de diseño, para esta prueba será de 75 golpes, ya que es una modificación de mezcla asfáltica de alto tráfico [21].

**Tabla 6.-** Criterio de diseño de mezclas Marshall.

<b>Tipo de trafico</b>	<b>Muy Pesado</b>		<b>Pesado</b>		<b>Medio</b>		<b>Liviano</b>	
<b>Criterios Marshall</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo(pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
-Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
-Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
-Capa Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0,8	1,2	0,8	1,2	-	-	-	-
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente	-	-	-	-	-	-	-	-
-Capa de Rodadura	70	----	70	----	-	-	-	-
-Intermedia o base	60	----	60	----	-	-	-	-

**Fuente:** Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002.

Tabla 405.5.4

**Tabla 7.-** Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

<b>Máximo tamaño de partícula nominal</b>		<b>Porcentaje mínimo VMA</b>		
		<b>Porcentaje diseño vacíos de aire</b>		
<b>mm</b>	<b>In</b>	<b>3.0</b>	<b>4.0</b>	<b>5.0</b>
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19	3/4	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

**Fuente:** Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002.

Tabla 405.5.5

Además de los requisitos de tamaño de partícula mencionados anteriormente y los requisitos para su fabricación, el agregado también deberá cumplir con los siguientes requisitos:

Según la norma INEN 860, el agregado grueso no debe desgastarse más del 40% después de 500 revoluciones de la máquina en Los Ángeles. En el ensayo de resistencia especificado en INEN 863, la disolución o pérdida total del agregado no deberá exceder el 12% con 5 ciclos de remojo y enjuague con sulfato de sodio, a menos que específicamente se especifique otro. Áridos caracterizados por un contenido superior al 95% de material bituminoso después de impregnar materiales bituminosos de acuerdo con ASSHTO T 182 [15].

Se entiende por agregado grueso la fracción de roca retenida en la criba de 4,75 mm (N° 4); del agregado fino entre tamices de 4,75 mm y 75 micrones (200) y los rellenos minerales pasen por un tamiz de 75 micrones.

Los pedazos de agregado grueso deben estar limpios y libres de partículas planas, alargadas, blandas o desintegradas no deseadas. También debe estar libre de polvo, suciedad, grumos de arcilla u otras sustancias que puedan impedir que el asfalto se adhiera por completo. El árido fino propiamente dicho consistirá en arena triturada o su mezcla con arena natural.

Las partículas de agregado fino deben ser duras, limpias y tener una superficie rugosa y angular. Además, el material debe estar libre de cualquier sustancia que interfiera con la adherencia del betún [2].

En un rango de tamaño de partícula dado, la dosificación de mezclas asfálticas comienza con la determinación de la cantidad de agregado requerida. Esta banda de tamaño de grano generalmente se proporciona en un código, como un manual de carreteras, y se deben cuantificar agregados de diferentes tamaños para que el agregado final cumpla con las especificaciones de tamaño para cada tamiz establecido por la cinta [22].

El objetivo principal de este laboratorio es diseñar una mezcla asfáltica adecuada para la construcción de infraestructura vial en el Ecuador.

### ***1.1.3.6. Polímeros***

Son sustancias de alto peso molecular formadas por cientos de miles de pequeñas moléculas llamadas monómeros (compuestos con moléculas simples). De esta manera, se forman macromoléculas de diversas formas: cadenas en escalera, cadenas ancladas o fijadas térmicamente que no se ablandan cuando se calientan, cadenas largas y sueltas [7].

Hoy en día, el uso de polímeros se ha expandido a una variedad de aplicaciones debido a su baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y otras propiedades importantes. El uso comercial de nuevos productos como los polímeros depende del costo y las propiedades. El costo depende básicamente del proceso de polimerización y la disponibilidad del monómero. Por lo tanto, las principales fuentes de materias primas para la producción de monómeros son:

- Productos naturales
- Carbón o carbón mineral
- Petróleo [20].

Las propiedades del betún dependen básicamente de tres factores:

- Temperatura
- Envejecimiento
- Tiempo de carga

Bajo la acción de alta temperatura y carga constante, el betún se comporta como un líquido viscoso, una mezcla de resinas puede provocar grietas. A bajas temperaturas y cargas rápidas, se vuelve quebradizo, dando lugar a fisuras transversales y térmicas. El objetivo de la adición de polímeros al betún es mejorar su reología, con el objetivo de:

- Sensibilidad térmica reducida. Reduce la fragilidad en climas fríos y aumenta la adherencia en climas cálidos. Sensibilidad reducida a los tiempos de carga de la aplicación
- Resistencia mejorada a la deformación permanente y al agrietamiento en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de carga.

- Compatibilidad mejorada con los agregados [9].

### **Polímero utilizado en modificación de asfaltos**

Es el polímero sintético más producido en el mundo. Tiene las características de incoloro, inodoro, no tóxico y de baja presión. Este polímero es una cadena lineal más fuerte, más rígida y 4 veces menos permeable que el polímero de baja densidad porque su composición fisicoquímica es muy resistente al fuego y los productos químicos [23].

El polímero de alta densidad tiene una calidad de reciclado bastante media y el proceso de reciclado es mecánico. Solo se puede reutilizar en el proceso de extrusión, y el prensado a presión se usa cuando el volumen de visualización es grande. Las características del polímero son las siguientes:

1. Alta resistencia al impacto.
2. Alta resistencia química y resistencia al calor.
3. Es flexible incluso a bajas temperaturas.
4. Muy ligero.
5. No puede ser atacado por ácido.
6. 100°C resistente al agua.

Tiene las siguientes ventajas:

- Es elástico
- Es flexible
- Es resistente a todas las formas de corrosión
- Es un producto reciclable
- Fácil de transportar
- Sin deformación permanente
- Resistente a ácidos, elementos químicos altamente corrosivos y bacterias
- Movimiento Antisísmico
- Puede procesarse en losas grandes, lo que reduce la necesidad de otros materiales
- Costes de compra e instalación muy bajos

- Tiene una vida útil bastante larga [1].

### **Proceso de reciclado**

El reciclaje de plástico es el proceso de reciclaje de residuos plásticos. Los tres usos principales de los plásticos reciclados son como materia prima para reutilización directa, producción de nuevos productos y conversión en nuevos combustibles o productos químicos. Los plásticos se clasifican por tipo de plástico antes de ser reciclados. Se han utilizado varios métodos para distinguir los plásticos, pero ahora se utiliza el infrarrojo. Una vez separado, se tritura como una etiqueta de papel y se eliminan los restos. Luego se derrite y se rompe en pequeñas canicas y se usa para hacer otras canicas [23].

Hay tres métodos principales de reciclaje:

- Reciclado mecánico: El método consiste en separar el plástico por tipos, lavarlo hasta que el molde se derrita y se convierte en pequeños pedazos hasta producir un nuevo producto.
- Reciclado químico: este método implica la descomposición térmica del plástico para regenerar moléculas simples.
- Recuperación de energía: un método para convertir plástico en combustible para generar energía.

Las botellas de bebidas están hechas de PET (tereftalato de polietileno), tomando aproximadamente 500 años para extenderse, convirtiéndose en uno de los recipientes más utilizados en el mundo. Y esto es que estos contenedores son estables, es difícil de romper, está disponible en la economía y es el manejo más importante.

La principal ventaja de las botellas PET se crean con los materiales más reciclado del mundo, por lo que no es recomendable reprocesarlos sino más bien volver a producir envases nuevos de las mismas [22].

### **Aplicación de plástico**

El plástico PET reciclado, se puede agregar a la mezcla asfáltica por dos métodos diferentes húmedo y seco.

**Tabla 8.-** Terminología para uso del polietileno reciclado en mezcla asfáltica

<b>Material</b>	<b>Vía</b>	<b>Producto</b>
<b>PLÁSTICO POLETILENO RECICLADO</b>	Húmeda	Asfalto modificado con polietileno reciclado o Asfalto-Polietileno
	Seca	Mezcla asfáltica mejorada con Polietileno reciclado

**Fuente:** Plástico polietileno en mezclas asfálticas, Calderón 2018

### **Proceso húmedo**

En el proceso húmedo, la resina de polietileno actúa transformando el cemento asfáltico, mientras que en el proceso seco la resina se utiliza como parte del agregado. Los siguientes son términos relacionados con el uso de polietileno reciclado en mezclas asfálticas:

La producción de asfalto de polietileno consiste en mezclar polietileno reciclado (generalmente de 2 a 4 mm de tamaño) en tanques con cemento asfáltico. Generalmente, el porcentaje de polietileno reciclado añadido está entre el 10% y el 20% del peso del ligante.

Para facilitar la unión entre el betún y el polietileno, es necesario programar el tiempo de reacción y la temperatura en el baño.

Normalmente, la mezcla se prepara a 150°-200°C durante 1 a 4 horas.

Durante el proceso húmedo, el tanque de mezcla debe dejarse en el suelo, cerca de la planta de asfalto. Cuando el asfalto de polietileno alcanza los parámetros requeridos en particular, la viscosidad de la mezcla se alimenta al mezclador de la planta de asfalto en un proceso continuo para combinarse con la roca.

Una vez que el asfalto se mezcla con polietileno y agregado de roca, el concreto asfáltico resultante se transporta al sitio de construcción y se esparce con una máquina de acabado convencional. Los rodillos lisos de dos ejes se utilizan comúnmente para la compactación [23] [25] [7].



**Figura 3.-** Esquema fabricación de las mezclas Vía Húmeda



**Fuente:** Esquema fabricación de las mezclas Asfalto-Polietileno - Vía Húmeda. Calderón 2018

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo general

- Analizar los efectos de la adición de partículas de plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas de pavimento.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Elaborar briquetas asfálticas con adición de partículas tipo hojuela de plástico reciclado (PET) al 15%, 20% y 25% para las propiedades físico-mecánicas.
- Realizar ensayos de estabilidad y flujo, determinación del peso específico “bulk”, análisis de la densidad y vacíos.
- Determinar el peso específico, estabilidad, absorción y densidad como propiedades físico y mecánicas de las muestras de briqueta asfáltica
- Comparar los resultados obtenidos entre los ensayos de laboratorio de las briquetas asfálticas y los datos del Método Marshall para el diseño de mezclas bituminosas asfálticas.

## CAPITULO II.- METODOLOGÍA

### 2.1. Materiales

El material que se utiliza para hacer las carreteras de asfalto flexible se encuentra principalmente en la zona rural de Tungurahua, y su uso se ha incrementado por ser ecológico, económico, reciclable y adecuado para la zona. Idealmente, el suelo debe contener bajos niveles de materia orgánica y arcilla expandible.

Debido a esta composición es posible utilizarlo ya que se puede mejorar con otros materiales, tipo PET en hojuelas, que cumplen la función de proporcionar un mejor aislamiento a los materiales naturales.

#### 2.1.1. Materia prima

##### 2.1.1.1. *Bitumen*

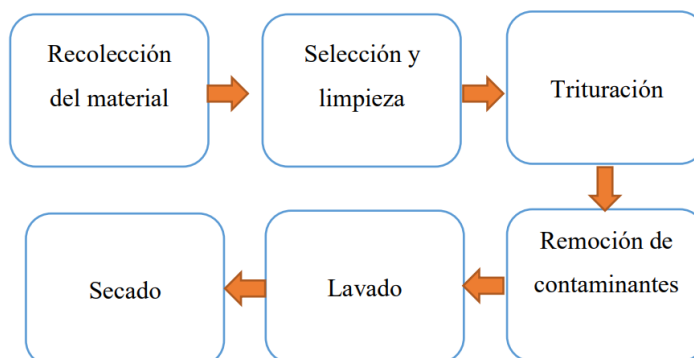
Se obtiene por destilación fraccionada del petróleo crudo. Este es el más pesado y tiene el punto de ebullición más alto de 525 ° C. El betún natural está hecho de restos microscópicos de algas y muchos otros organismos que alguna vez existieron [8].

##### 2.1.1.2. *Plástico reciclado*

El material proviene del reciclaje de botellas de plástico, así como de otros materiales, esencialmente mediante la trituración a través de una entrada de mayor o menor tamaño que permite el acceso a la parte plástica de la hélice que sujeta las múltiples palas, que gracias a su potencia y velocidad corta y tritura. piezas de plástico.

A fin de reducir el tamaño de partículas disponibles, con tamaños variables según los requisitos del PET. Los materiales se Trituran en los siguientes modos básicos a continuación [5]:

**Figura 4.-** Proceso de trituración en PET



**Elaborado por:** Vargas, A (2022)

## **2.1.2. Agregados**

### **2.1.2.1. Arena**

Este árido fino es un material obtenido por descomposición natural de la roca o por trituración. En la trituración artificial, las rocas se Trituran o Trituran en lugares llamados agregados. En el caso de la producción natural, se hace extrayéndolo del lecho del río y luego pasándolo por un tamiz. Sus partículas van desde 2 mm hasta 0,05 mm [25].

### **2.1.2.2. Piedra triturada**

Árido bruto obtenido de la extracción, trituración y clasificación de áridos extraídos de canteras, manteniendo altos estándares de calidad, asegurando la homogeneidad de los materiales fabricados en cuanto a propiedades físicas y distribución de partículas [13].

### **2.1.2.3. Grava triturada**

Las rocas sedimentarias duras se forman por división natural o artificial de otras rocas y minerales. Los guijarros tienen de 2 a 64 mm de diámetro y varían en composición química. Está compuesto principalmente por rocas ricas en cuarzo y cuarcita. También incluye fragmentos de piedra caliza, basalto, granito y dolomita [11].

### 2.1.3. Equipos

Se debe asegurar que el análisis de las propiedades del suelo se correlacione con la composición física apropiada del mismo. Todo esto es posible gracias a la existencia de diversos equipos analíticos y de ensayo, que utilizan equipos para facilitar la extracción, control y ensayo de muestras representativas, de manera que es posible calcular un modelo muy cercano a la situación real. laboratorio. Estos dispositivos se fabrican según especificaciones estándar para verificar su calidad y forma adecuada.

#### 2.1.3.1. *Molde de compactación especial de 4"*

Los siguientes datos corresponden al molde de 4" de diámetro x 3" de altura con su collar de extensión:

- Cuerpo: Diámetro interior de 101,6 mm (4") | Altura de 116,4 mm
- Placa base: 12,7 mm x 150 mm x 150 mm
- Collar: Diámetro interior de 101,6 mm (4") | Altura de 60,33 mm [1].

**Figura 5.-** Molde para compactación método Marshall



**Fuente:** Molde de método Marshall. Calderón 2018

#### 2.1.3.2. *Martillo de compactación con zapata circular*

Se utiliza para la compresión dinámica de muestras de asfalto en sustratos compactados. Incluye protector de puntera de 10 libras de peso y 18" de altura de caída [2].

**Figura 6.-** Martillo de compactación



**Fuente:** Martillo de compactación de método Marshall. Calderón 2018

### **2.1.3.3.      *Pedestal de compactación***

Placa superior en acero de 305 mm x 305 mm x 25 mm (12'' x 12'' x 1'')

Base en madera de 203 mm x 203 mm x 457 mm (8'' x 8'' x 18'')

Incluye: Soporte sujetador del molde Marshall [27].

**Figura 7.-** Pedestal de compactación

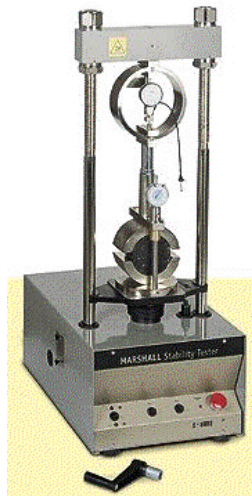


**Fuente:** Pedestal de compactación de método Marshall. Calderón 2018

### **2.1.3.4.      *Prensa para el ensayo (maquina Marshall)***

Un dispositivo para las pruebas de estabilidad, especialmente diseñado, y formado por dos segmentos semicirculares cuyo diámetro interior mide 5 cm [13].

**Figura 8.-** Prensa de ensayo



**Fuente:** Prensa para el ensayo de compactación de método Marshall. Calderón 2018

#### **2.1.3.5.      *Equipo de baño María***

Es un dispositivo experimental en forma de recipiente lleno de agua caliente. El baño de agua se utiliza para incubar muestras en agua a temperatura constante durante mucho tiempo [28].

#### **2.1.3.6.      *Bandejas para calentamiento***

Hecho de material anticorrosión, su calidad no cambiará con el calentamiento o enfriamiento repetido. Deberán tener tapas adecuadas para evitar la pérdida de humedad de la muestra antes del pesaje inicial y para evitar la absorción de humedad en la atmósfera después del secado y antes del pesaje final.

Es adecuado el metal de aluminio o acero inoxidable con una altura de 2,5 cm y un diámetro de 5 cm [2].

#### **2.1.3.7.      *Balanza***

Cumple con la especificación D 475 3, clase GP1, sensibilidad 0,01 g [29].

#### **2.1.3.8.      *Horno***

El horno es controlado por calor, capaz de mantener una temperatura constante de 110  $\pm$  5 °C para el secado de muestras. No opere su termostato sin el consentimiento del

instructor, ya que llevará mucho tiempo estabilizarse y volver a la temperatura deseada [29].

#### **2.1.3.9. *Termómetro digital***

Utiliza un sensor y luego usa un circuito electrónico para convertir pequeños cambios de voltaje en un número final que muestra la temperatura en la pantalla.

#### **2.1.3.10. *Espátula y guantes de cuero***

Utensilios para diversos usos, consistentes en una cucharita de chapa triangular de filo afilado y mango largo; Se utiliza para raspar mampostería y limpieza de superficies o para enlucir, mezclar o colorear pinturas, para mezclar y esparcir semilíquidos, etc. en farmacias y cocinas.

Especialmente en laboratorios y empresas de limpieza, use guantes protectores para protegerse contra los peligros químicos. Su función principal es proteger contra el contacto directo con productos químicos que pueden quemar o irritar la piel [29].

#### **2.1.3.11. *Tamizadora***

Para columna de tamiz fuerte vibración y movimiento de rotación. Tiene un temporizador de 0 a 99 minutos y mide 496 x 406 x 946 mm. Está fabricado según las normas de calidad ISO 9001.

#### **2.1.3.12. *Tamices debidamente enumerados***

Son contenedores de malla cuadrada con aberturas estandarizadas de mayor a mayor agujero más pequeño. La Tabla 9 enumera los agujeros de malla en milímetros para el análisis del tamaño de las partículas del suelo. Se fabrican según las siguientes normas de calidad: ISO 565, 3310-1, 3310-2, ASTM E11. La tela de la pantalla debe instalarse en el marco y la estructura del marco puede evitar la pérdida de material durante el tamizado. La tela y el marco de la pantalla estándar deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154 [27].

**Tabla 9.-** Valores estandarizados de ensayo granulométrico

Tamaño de malla – pulg.	Tamaño de malla – mm
3"	76,2
2"	50,8
1,5"	38,1
1"	25,4
¾"	19,1
3/8"	9,52
N°4	4,76
N°10	3,36
N°40	0,42
N°200	0,074

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN NTE 154

Los niveles y tipos de investigación que se utilizarán en este proyecto serán correlacionales, experimentales, de campo y bibliográficos. Siendo los principales mecanismos metodológicos implicados durante el desarrollo investigativo y experimental por medio de técnicas de recolección de información junto al diseño y aplicación de instrumentos que servirán como fuente primaria en el procesamiento de datos.

Se medirá de manera rápida y exacta la resistencia al flujo plástico de las mezclas bituminosas se realizará de acuerdo a los estándares de las normas AASHTO T 245, ASTM D 1559, AASHTO T 225 [15].

**Tabla 10.-** Factores de estudio

Tratamiento	# de muestras	% de cemento asfáltico	% de plástico	Unidad experimental
Tratamiento testigo	4	6,0	0%	1200,0 g
	4	6,5	0%	1200,0 g
	4	7,0	0%	1200,0 g
Tratamiento 1	4	6,0	15%	1210,8 g
	4	6,5	15%	1211,7 g
	4	7,0	15%	1212,6 g
Tratamiento 2	4	6,0	20%	1214,4 g
	4	6,5	20%	1215,6 g
	4	7,0	20%	1216,8 g
Tratamiento 3	4	6,0	25%	1218,0 g
	4	6,5	25%	1219,5 g
	4	7,0	25%	1221,0 g

**Elaborado por:** Vargas, A (2022)

Durante el trabajo de campo, se producirá mezcla bituminosa con adición de plástico reciclado tipo PET bajo condiciones de prueba adecuadas bajo ciertas condiciones



prácticas y se observará en un espacio temporal definido, y se determinará la resistencia a la compresión calculada utilizando dispositivos de recolección de información.

Los niveles y tipos de investigación detallados anteriormente se lograrán a lo largo de la investigación y la práctica, y los objetivos establecidos en este proceso se lograrán para sacar conclusiones y recomendaciones basadas en los procedimientos. El proceso técnico se puede medir y no manipular. Proporcionar a los beneficiarios información sobre herramientas de consultoría seleccionadas y modelos prácticos.

A fin de realizar una correcta aplicación de procesos de análisis a continuación se menciona la secuencia que deberá cumplir el trabajo experimental.

## **2.2. Métodos**

- Ensayos previos
  - ✓ Granulometría (Norma INEN 696),
  - ✓ Gravedad específica y absorción de los agregados finos (Norma ASTM C128),
  - ✓ Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos (Norma ASTM C127),
  - ✓ Desgaste por abrasión del agregado grueso, Norma AASHTO T96 (ASTM C131),
  - ✓ Porcentaje de caras fracturadas en los agregados, (ASTM D5821-95)
- Obtención del plástico (tamizado)
- Diseño del método Marshall para mezcla asfáltica y mezcla asfáltica con partículas plásticas, Norma ASTM 1559
  - ✓ Preparación de briquetas
  - ✓ Compactación de las briquetas asfálticas con botellas plásticas
- Ensayo de briquetas asfálticas con botellas plásticas
  - ✓ Determinación del peso específico “bulk”,
  - ✓ Ensayo de la estabilidad y flujo,
  - ✓ Análisis de densidad y vacíos de las briquetas asfálticas con botellas plásticas (Ensayo RICE, Norma ASTM D2041)

- Curvas de diseño de mezcla asfáltica modificada
- Análisis de resultados de la mezcla asfáltica modificada [15].

Consiste en la elaboración de briquetas con mezcla de agregados, asfalto caliente y materiales reciclados, colocados en cada grupo de briquetas serán elaboradas de diferentes porcentajes de materiales reciclados.

### 2.2.1. Ensayos previos

#### 2.2.1.1. Granulometría, Norma INEN 696

Áridos. Análisis granulométricos en los análisis finos y gruesos. NTE INEN 696:2011. First Edition. [30]

La norma establece el método de ensayo a fin de determinar la distribución granulométrica en las partículas de áridos finos y gruesos por tamizado.

Iniciando el ensayo de Granulometría, mediante el cuarteo de las muestras totales a ensayarse, colocándose en tamices conformados se la siguiente manera: ¾”, ½”, 3/8”, N°4, N°8, N°50, N°200 apilados en una torre sobre el pedestal vibratorio a fin de que las partículas pasen o se retienen en cada uno de acuerdo a su tamiz. Correspondiente a la franja ¾” para mezclas asfálticas en planta con especificaciones de la MTOP.

**Tabla 11.- Granulometría**

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾”	½”	3/8”	N°4
1” (25,4 mm)	100	----	----	----
¾” (19,0 mm)	90-100	100	----	----
½” (12,7 mm)	-----	90-100	100	----
3/8 (9,50 mm)	56-80	---	90-100	100
N°4 (4,75 mm)	35-65	44-74	55-85	80-100
N°8 (2,36 mm)	23-49	28-58	32-67	65-100
N°16 (1,18 mm)	----	----	----	40-80
N°30 (0,60 mm)	----	----	----	25-65
N°50 (0,30 mm)	5-19	5-21	7-23	7-40
N°100 (0,15 mm)	----	----	----	3-20
N°200 (0,075 mm)	2-8	2-10	2-10	2-10

**Fuente:** Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002.

Tabla 405.5.1

**2.2.1.2. Gravedad específica y absorción de los agregados finos, Norma ASTM C128 (INEN 856)**

Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. NTE INEN 856:2010. First Edition. [32]. Este ensayo permite determinar la gravedad específica y la absorción de agua en los agregados finos en un periodo de 24 horas sumergidas, identificando el estado de saturado superficialmente en seco mediante el método del picnómetro.

Las muestras del ensayo son cubiertas totalmente por agua y sumergida por  $24 \pm 4$  horas, pasando el tiempo requerido se retira del agua extendiéndole a una superficie lisa y se somete a una corriente de aire caliente a fin de secar la superficie de las partículas frotando con las manos en el secado sea uniforme.

Posterior del tiempo previsto se vierte la muestra en el molde cónico colocando en el interior del embudo una cantidad suficiente de muestra, se compacta con una varilla con 25 golpes de una forma homogénea, derrumbando la muestra saturada superficialmente seca SSS.

A continuación, se pesaba en el picnómetro vacío de 50 gr de muestra picnómetro dentro del agua hasta la marca del aforo y se pesa todo. Se da vueltas al picnómetro que contiene la muestra y el agua a fin de liberar. Con el que se liberen posibles burbujas encapsuladas en la muestra a toma de la temperatura en el conjunto vertiendo en el recipiente, dejando reposar unos minutos y separando la muestra del agua.

Finalmente se toman los respectivos pesados introducción la muestra en el horno durante  $24 \pm 4$  y se seca la muestra en el horno y se pesa.

**Ecuación [1]** Peso suelo seco (A):

$$W_s = (W_r + W_s) - W_r$$

De acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación [2]** Gravedad específica:

$$G_s = \frac{B * K}{A + C - D}$$

**Ecuación [3]** Cálculo de la gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS) a continuación:

$$SSS = \frac{A * K}{A + C - D}$$

**Ecuación [4]** Cálculo de la gravedad específica aparente de las partículas secas a continuación:

$$GsA = \frac{B * K}{B + C - D}$$

**Ecuación [5]** Cálculo del porcentaje de absorción mediante la siguiente:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{A - B}{A} * 100$$

**Tabla 12.-** Factor de corrección de constante K (temperatura)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,9999	0,9999	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999
10	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9991	0,9990	0,9988	0,9986	0,9984
20	0,9982	0,9980	0,9978	0,9976	0,9973	0,9971	0,9968	0,9965	0,9963	0,9960
30	0,9957	0,9954	0,9951	0,9947	0,9944	0,9941	0,9937	0,9934	0,9930	0,9926
40	0,9922	0,9919	0,9915	0,9911	0,9907	0,9902	0,9898	0,9894	0,9890	0,9885
50	0,9881	0,9876	0,9872	0,9867	0,9811	0,9806	0,9800	0,9795	0,9789	0,9784
60	0,9832	0,9827	0,9822	0,9817	0,9811	0,9806	0,9800	0,9795	0,9789	0,9784
70	0,9778	0,9772	0,9767	0,9761	0,9755	0,9749	0,9743	0,9737	0,9731	0,9724
80	0,9718	0,9712	0,9706	0,9699	0,9693	0,9693	0,9680	0,9673	0,9667	0,9660
90	0,9653	0,9647	0,9640	0,9633	0,9633	0,9616	0,9612	0,9605	0,9598	0,9591

**Fuente:** Norma ASTM C128

### 2.2.1.3. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos, Norma ASTM C127 (INEN 857)

Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. NTE INEN 857:2010. First Edition. [31]. Este ensayo se emplea para determinar la gravedad específica y la absorción de agua de los agregados gruesos en un periodo de 24 horas de sumergido en estado de saturada superficialmente seca (SSS) por el método de la canastilla.

Iniciando la muestra cubierta totalmente por agua y sumergida por  $24 \pm 4$  horas, de haber pasado el tiempo se retira la muestra del recipiente del agua y sobre el paño absorbente y frotar a fin de eliminar la lámina visible de agua.

Se pesa en balanza de cantidad deseada muestra de condición saturada superficial seca en la canastilla, pesando la masa a parte de agua de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  agitado en un recipiente de remover el aire atrapado en la sumergido en el tanque de agua.

Se seca la muestra en el horno a  $100^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de  $24 \pm 4$  horas a fin de tener saca la muestra del horno y posteriormente se pesa.

La constante K sirve como factor de corrección de la temperatura del ensayo (Tabla 12.- Factor de corrección de constante K)

**Ecuación [6]** Peso suelo seco (A):

$$W_s = (W_r + W_s) - W_r$$

**Ecuación [7]** Gravedad específica:

$$G_s = \frac{A * K}{B - C}$$

**Ecuación [8]** Gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS) mediante la siguiente:

$$SSS = \frac{B * K}{B - C}$$

**Ecuación [9]** Gravedad específica aparente de las partículas secas mediante la siguiente:

$$G_{sA} = \frac{A * K}{A - C}$$

**Ecuación [10]** Porcentaje de absorción mediante la siguiente:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

**2.2.1.4. Desgaste por abrasión del agregado grueso, Norma AASHTO T96 (ASTM C131) (INEN 860)**

Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles. NTE INEN 860:2011. First Edition [33]. Se emplea a fin de determinar la resistencia al desgaste de abrasión de agregados triturados/naturales, con la utilización de la máquina de los Ángeles para carga abrasiva. De los materiales pétreo del desarrollo del ensayo de la planta asfáltica de la Constructora Alvarado en la ciudad de Ambato.

Inicia con el previo lavado y secado en horno a 110°C separada por fracciones de cada tamaño de las posteriores de mezclas por granulometría (TABLA 9).

La abrasión se realiza por ensayo tipo A, pesada con una aproximación de 10 gr; dado que la muestra y carga abrasiva colocada en la máquina de los Ángeles haciendo girar el cilindro de la maquina a una velocidad entre 30 a 33 r.p.m. Siendo un numero de 500 vueltas de manera uniforme manteniendo la velocidad constante cumpliendo con el número de vueltas establecido procedente del material del cilindro y esferas.

El material más grueso será separado y pesado de acuerdo al porcentaje fino tamizado por el tamiz 1,70 mm (N°12) a ser pesado utilizado en el respectivo cálculo. Midiendo el desgaste y/o abrasión máximo permisible de 35%.

**Ecuación [11]** Porcentaje de desgaste

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{Peso muestra antes}}{\text{Peso muestra pasa}} * 100$$

**2.2.1.5. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados, Norma ASTM D5821-95**

Este se emplea a fin determinar el porcentaje de caras fracturas existentes de la muestra del agregado grueso.

Separándose por el tamizado comprendido entre 25,4 a 19,0 mm de tamaño, (1" – ¾") extendiendo la muestra de la superficie lisa a inspeccionar la partícula del agregado separando las partículas que tenga una o más caras fracturadas.

De acuerdo a la partícula de agregado redondeada presentada a la fractura muy pequeña considerada en partícula fracturada cuando el 25% o más parezca fracturada; siendo recientes en procedimientos mecánicos o por trituración.

**Ecuación [12]** Porcentaje de caras fracturadas

$$P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{(F + Q + N)} * 100$$

Donde:

P= % de partículas con el numero específico de caras fracturadas

F= peso/cantidad de partículas fracturadas con al menos el número específico de caras fracturadas

Q= peso/cantidad de partículas cuestionables

N= peso/cantidad de partículas en categoría de no fracturadas que no cumple con el índice de fractura

### **2.2.2. Obtención del plástico (tamizado)**

El plástico (PET) se obtuvo a granel de la empresa “Rectriplast” en la ciudad de Quito. La empresa se caracteriza por recolectar, clasificar, reciclar y triturar plástico como materia prima.

Se contactó con la empresa por los requerimientos para la fabricación de briquetas modificadas con partículas plásticas, se compró 5 kg de plástico limpio, lavado y triturado de origen solo de botellas sin tapas ni etiquetas tipo PET.

Para la preparación de las briquetas se procedió a tamizar pasado el tamiz N°50 con un tamaño de partículas de plástico de 0,30 mm.

### **2.2.3. Diseño del método Marshall para mezcla asfáltica, Norma ASTM D1559**

Para continuar con la investigación se realizó una mezcla asfáltica tradicional como testigo comparativo para la mezcla asfáltica modificada con polímeros. Mediante la

mezcla de agregados finos y gruesos provenientes de la Planta de asfalto de la Constructora Alvarado de la provincia de Tungurahua. Dado que la franja granulométrica iniciará en el 3/4" a fin de la realización de la mezcla asfáltica considerado de acuerdo a las exigencias del MOP-001-F 2002 Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

El criterio Marshall consiste en la fabricación de briquetas con la mezcla de agregados pétreos conjunto con bitumen caliente, se elaborará tres tratamientos con el 6%, 6,5% y 7% de bitumen. En cambio, los agregados pétreos serán del 60% para agregado grueso; 30% para agregados finos y 10% para fondo, basado en la MOP-001-F 2002 numeral 405-5.05-1 con el que se permitirá obtener la mezcla idónea para analizar en el Laboratorio de Suelos.

#### **2.2.3.1. Preparación de las briquetas**

- Las probetas se fabrican individualmente, pesando en recipientes las cantidades necesarias por tratamiento y repetición
- Calentar por un lado la mezcla de áridos y en otro asfalto de temperatura entre 140° a 150°C
- A continuación, procese a la mezcla de áridos y ligante a dicha temperatura
- Tiempos de mezcla debe ser lo más breve posible para conseguir una completa y homogénea cubrición de partículas.
- Previamente a la preparación de las mezclas de caliente del conjunto de bandeja, collar, molde, placa de base y espátulas a temperatura 140° a 150°C.
- Posteriormente se introduce la mezcla asfáltica en húmedo – caliente al interior del molde en pinchazos con espátula redondeada (15 alrededor y 10 alzar), obtención de compactado de homogéneo posible y eliminar la posibilidad de huecos [15].

#### **2.2.3.2. Compactación de las briquetas asfálticas tradicionales y de las briquetas asfálticas con partículas de plásticos**

Se continua, de cada molde en el pedestal de compactación apoyado por la mezcla de zapata del pistón y se aplica 75 golpes de caída libre y cuidado en el vástago del pistón vertical.



Terminada la aplicación del # de golpes requerido, se retira el molde del dispositivo de ajuste que se quita la placa base y collar de extensión, que se invierte del molde y se vuelve a montar el dispositivo, aplicado al mismo número de golpes.

Se retira el molde del pedestal, el collar y la base y a enfriar a temperatura ambiente por 2 horas.

Se le coloca el molde al collar de extensión y se acá de la probeta compactada, marcándola en cada cara con crayola.

Se pesa la probeta y se mide su espesor.

Finalmente, se coloca la probeta sobre la superficie lisa y bien ventilada durante toda la noche [15].

#### **2.2.4. Ensayo de las briquetas asfálticas tradicionales**

A fin de que cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos en el orden indicado:

##### **2.2.4.1. *Determinación del peso específico “bulk”***

##### **2.2.4.2. *Ensayo de estabilidad y flujo***

- **Peso en el aire:**

Es el que se realiza en el instante que se desmoldan a fin de escribir sus respectivos pesos.

- **Peso saturado superficie seca:**

Este peso se realizó sumergido en el agua durante el período de 10 min, se las retira del agua, posterior se las seca con un paño a fin de tomar su peso.

- **Peso sumergido**

Se realizó con el peso de las briquetas sumergidas en el agua, hasta que se estabilizó la lectura y posterior se la anoto.

El posterior ensayo se realizó en el sumergido de las briquetas a baño maría a 60°C durante un tiempo de 30 a 40 min.

A fin de ensayar por Marshall se limpia y lubrica con aceite las superficies internas de la mordaza, a fin de identificar la aplicación de carga por el indicador dial de carga en cero.

La briqueta se colocó en la mordaza y posterior se aplicó la carga, tomando en cuenta la deformación constante que produce la rotura, de acuerdo al punto de rotura se define a la carga máxima obtenida y el número de libras totales que se necesitaron para producir la rotura a 60°C determinado como Estabilidad Marshall se escribió el valor de la lectura expresado en centésimas de pulg.

#### **2.2.4.3. Análisis de la densidad y vacíos (Ensayo Rice ASTM D2041)**

- **Ensayo RICE, Norma ASTM D2041**

a) Pesado.

**Ecuación [13]** Peso inicial

$$A = \text{Peso del frasco} + \text{lamina de vidrio}$$

b) Frasco a capacidad total con agua destilada o desmineralizado de acuerdo a su temperatura

**Ecuación [14]** Peso con frasco

$$B = \text{Peso del frasco} + \text{agua a capacidad total}$$

c) Se enrasa del frasco con lámina de vidrio evitando la formación de burbujas de aire, seca y pesa

d) Se determina la combinación del diseño, pesado el agregado combinado para la mezcla

e) El bitumen y agregados pétreos se calientan en horno a 160°C

f) Se agrega el bitumen en porcentaje con respecto al peso del agregado

g) Se procede a mezclar con agregados combinados de 1 a 3 min mezclador mecánico y mezclando de 45 a 60 seg.

- h) Mezcla que se coloca en la bandeja y reposo a temperatura ambiente
- i) Enfriado el material se tamiza a la mezcla en tamiz 1 ¼" de porción gruesa y fina
- j) Tamizado para obtener la fracción gruesa o fina
- k) Se vacía la mezcla en el frasco, colocando una fracción fina y gruesa evitando la suspensión de los finos a facilitar la extracción de los vacíos.
- l) Se pesa el frasco + vidrio + muestra

**Ecuación [15]** Peso de la muestra

$$C = \text{Peso del frasco} + \text{vidrio} + \text{muestra}$$

- m) Se agrega agua a la mitad de la capacidad del frasco, iniciando el vacío parcial de aire a una presión de 30 mm de Hg durante 15 min; se agita el frasco por periodos de 2 a 3 min para facilitar la extracción de vacíos.
- n) Transcurrido los 15 min se agrega agua y se repite el proceso mencionado antes.
- o) Medir la temperatura después del vacío parcial para obtener la referencia

**Ecuación [16]** Medida del vacío

$$D = \text{Peso del frasco} + \text{agua a capacidad total}$$

- p) Continuando el proceso se enrasa el frasco con la lámina de vidrio, formando de burbujas de aire, seca y pesa el conjunto.

**Ecuación [17]** Peso de aire de la muestra

$$E = \text{Peso del frasco} + \text{vidrio} + \text{agua} + \text{muestra (después del vacío parcial)}$$

- q) Los datos se proceden a realizar los cálculos para obtener la gravedad específica máx. teórica.

**Tabla 13.-** Tamaños, peso de las muestras

Tamaño nominal máximo de agregado		Peso mínimo de la muestra	
mm		Kg	gr
4,7	Nº4	0,5	500
9,5	3/8"	1,0	1000
12,5	½"	1,5	1500
19,0	¾"	2,0	2000
25,0	1"	3,0	3000
37,5	1 ½"	4,0	4000

**Fuente:** Norma ASTM D2041

### 2.2.5. Procedimiento de cálculo del método Marshall de briquetas asfálticas tradicionales

De acuerdo a lo siguiente:

- A. Número de muestras para identificación
- B. Porcentaje de bitumen en la biqueta tradicional
- C. Espesor medido en cm de cada biqueta
- D. Peso al aire de la probeta en gr
- E. Peso al aire de la probeta saturada y superficialmente seca en gr
- F. Peso en gr de la probeta en agua
- G. **Determinación del peso específico Bulk (densidad aparente)**, con la siguiente ecuación, relacionando el peso en aire con el peso en agua:

**Ecuación [18]** Peso Bulk

$$G = \frac{D}{E - F}$$

- H. **Cálculo del peso específico máximo teórico**, de acuerdo al porcentaje de bitumen teóricamente a lo posible a comprimir la muestra de la masa de asfalto y agregados carente de vacíos de aire con lo siguiente:

**Ecuación [19]** Peso específico máximo

$$H = \frac{100}{\frac{\% \text{ agreg}}{G_a \text{ gr}} + \frac{\% CA}{G_a \text{ sf}}}$$

- I. Peso específico máximo medido en la mezcla, de acuerdo a los vacíos con aire necesario para conocer los porcentajes de asfalto absorbido por los agregados pétreos y el volumen real de los vacíos en el aire.
- J. **Cálculo del porcentaje de volumen** que se ocupa el agregado pétreo respecto al total del volumen utilizado con la siguiente ecuación:

**Ecuación [20]** Cálculo del porcentaje de volumen

$$J = \frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$$

**K. Cálculo del porcentaje de vacíos en aire respecto al total del volumen,** con la siguiente ecuación:

**Ecuación [21]** Cálculo del porcentaje de vacíos en aire respecto al total del volumen

$$K = \frac{\% agreg * G}{G agreg}$$

**L. Cálculo del porcentaje de vacíos en aire,** con el porcentaje del volumen de la probeta con la siguiente ecuación:

**Ecuación [22]** Cálculo del porcentaje de vacíos en aire

$$L = \left(1 - \frac{G}{1}\right) * 100$$

**M. Cálculo del volumen de asfalto efectivo,** a fin de conocer el porcentaje del volumen de la probeta con la siguiente ecuación:

**Ecuación [23]** Cálculo del volumen de asfalto efectivo

$$M = 100 - K - L$$

**N. Cálculo del porcentaje de vacíos por agregado pétreo de la mezcla compactada,** con la siguiente ecuación:

**Ecuación [24]** Cálculo del porcentaje de vacíos por agregado pétreo

$$N = 100 - K$$

**O. Cálculo del contenido de bitumen efectivo al peso de la mezcla,** utilizando la siguiente ecuación:

**Ecuación [25]** Cálculo del contenido de bitumen efectivo al peso

$$O = \left( \%CA - \frac{J * \%agreg}{100} \right)$$

**P. Cálculo** del porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

**Ecuación [26]** Cálculo del porcentaje de vacíos llenos de asfalto

$$P = \frac{N * L}{N} * 100$$

**Q.** En este casillero colocamos la lectura del dial de la Estabilidad Marshall realizado por la máquina, el valor de la estabilidad se registra en libras.

**R. Factor de corrección rectificado**, depende del espesor de las briquetas, de acuerdo a los valores de la estabilidad de la probeta en función de la altura de la briketa de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 12.-** Factor de corrección de la estabilidad Marshall

<b>Volumen de la muestra en cm<sup>3</sup></b>	<b>Espesor aproximado muestra en mm</b>	<b>Factor de corrección</b>
200-213	25,4	4,55
214-225	26,9	4,17
226-237	28,6	3,85
238-250	30,2	3,57
251-264	31,8	3,33
265-276	33,3	3,03
277-289	34,9	2,78
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,03
354-367	44,5	1,92
368-379	45,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,4	1,00
523-535	65,1	0,93
536-546	66,7	0,93
547-559	68,3	0,89
560-573	69,9	0,86
574-585	71,5	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

**Fuente:** Norma ASTM D1559

**S.** Con los factores de corrección, rectificamos los valores de la estabilidad de cada probeta y aplicamos la siguiente formula:

**Ecuación [27]** Valores de la estabilidad

$$S = Q * R$$

**T.** Flujo de movimiento o deformación total que produce la briqueta inicial hasta su máxima carga expresado en centésimas de pulg.

### **2.2.6. Curvas de diseño de mezcla asfáltica tradicionales**

Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico: Para esta determinación se tomaron en cuenta las tres curvas que se muestran en la figura.

A partir de las cuales se obtuvo el contenido de betún de acuerdo a los siguientes detalles:

- Porcentaje de cemento asfáltico con máxima densidad o densidad
- Porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al índice de vacío 4%
- La relación asfalto cemento corresponde a la mayor estabilidad.

El promedio de estos tres valores corresponde a la proporción óptima de asfalto.

### **2.2.7. Diseño del método Marshall para mezcla asfáltica modificada, Norma ASTM D1559**

En cuanto al método experimental para la elaboración de la mezcla de briquetas asfálticas con adición de partículas de plástico reciclado con el 15%, 20% y 25% (providente de botellas PET sin etiqueta y tapa), con el 6, 6,5% y 7% de bitumen.

#### **2.2.7.1. Preparación de briquetas asfáltica modificada**

La biqueta modificada con plástico reciclado fue obtenida mediante la mezcla de bitumen, agregados pétreos y un porcentaje de partículas de plástico como aditivo, a fin de determinar la influencia de estabilidad y flujo de las muestras obtenidas para tráfico medio en el cantón Ambato.

#### **2.2.7.2. Procedimiento de briquetas asfáltica modificada**

Para la obtención de las briquetas se realizó las siguientes actividades:

1. Se calentó los moldes en el horno de 120 a 150°C, y limpiar la base de compactación.
2. Se pesó la fracción de agregados pétreos gruesos y finos, con la adición de plástico reciclado (15%, 20% y 25%) más bitumen; con un peso total de 1200g colocando en la bandeja de calentamiento del contenido de 140 a 180°C.



3. Se calienta toda la mezcla de pavimento asfáltico y en la mezcla se adjunta el porcentaje de plástico.
4. Se coloca en el molde la mezcla caliente de pavimento asfáltico en el interior del molde, aplicando los 25 pinchazos con espátula redondeada a fin de compactar lo más homogéneo para eliminar así la posibilidad de huecos.
5. Se compacta con el pedestal de compactación por medio de la zapata del pistón aplicado con 75 golpes de caída libre y soltando con el vástago de pistón de forma vertical.
6. Se retira el molde del pedestal, quitando el collar y la base. Dejado enfriar a temperatura de 20°C por un tiempo de 2 horas.
7. Se extrae la briqueta del molde.
8. Se aplicó 75 golpes en caída libre por cada cara a fin de proyectar las vías de tráfico pesado.
9. Se sometió a los siguientes ensayos:
  - Determinación del peso específico “Bulk”
  - Ensayos de estabilidad y flujo
  - Análisis de la densidad y vacíos

**2.2.7.3. Procedimiento de cálculo del método Marshall de briquetas asfálticas modificadas.**

**2.2.7.4. Curvas de diseño de mezcla asfáltica tradicionales**

**2.2.8. Análisis de resultados de la mezcla asfáltica tradicionales y mezclas asfálticas con partículas de plásticos**

El resultado de los análisis del diseño de mezclas Marshall, permitió que se realizó cuadros y gráficos de los valores obtenidos. Por lo cual se fabricó por cada mezcla asfáltica un total de 36 briquetas para el estudio del plástico reciclado descrito en los ensayos anteriores realizados.

Dado que estos puntos expresan los valores de las briquetas asfálticas, que se ajuste a los valores calculados en una curva uniforme, en gráficos que se puedan observar ciertas tendencias en relación entre el bitumen y las propiedades de la mezcla

Después de tener los resultados de las pruebas para determinar los parámetros mecánicos y físicos de la mezcla asfáltica normal y la mezcla asfáltica modificada que contiene 15%, 20% y 25% de polímero (PET), se compararon y analizaron los resultados.

Para analizar los resultados se trazarán tablas y gráficos que muestren los diferentes valores obtenidos entre la mezcla tradicional vs la mezcla modificada.

Para obtener resultados analíticos confiables, a partir de cada mezcla de betún modificado con 15%, 20% y 25% de polímeros (PET) con el que elaborará un total de 36 briquetas de diseño de mezcla Marshall incluyendo sus respectivas repeticiones. Los resultados de la prueba MARSHALL se presentan en forma gráfica para explicar las propiedades individuales de los polímeros y gránulos de betún modificado convencionales utilizados en la prueba.

Al analizar estas tablas, es posible determinar el grupo de briquetas que cumple con los criterios de diseño (Tabla 14.-) establecidos para el diseño de mezclas asfálticas y la evaluación de porcentajes de vacíos de agregado mineral (Tabla 15.-).

**Tabla 14.-** Criterio de diseño

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Criterio de mezcla	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad N Lb	3336		5338		8006	
	750	---	1200	---	1800	---
Flujo 0,25 mm; 0,01 in	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver tabla					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Norma ASTM D2041

**Tabla 15.-** Porcentaje de vacíos de agregado mineral

Máximo tamaño de partícula nominal		% min Vacíos de agregado mineral		
		% diseño vacíos de aire		
mm	In	3,0	4,0	5,0
1,18	No. 16	21,5	22,5	23,5
2,36	No. 8	19,0	20,0	21,0
4,75	No. 6	16,0	17,0	18,0
9,50	3/8	14,0	15,0	16,0
12,50	1/2	13,0	14,0	15,0
19,00	3/4	12,0	13,0	14,0
25,00	1.0	11,0	12,0	13,0
37,50	1.5	10,0	11,0	12,0

Fuente: Norma ASTM D2041

### 2.3. Hipótesis

**Ho:** El efecto de adición de partículas de plástico reciclado no influirá en las propiedades físico-mecánicas de pavimento.

**Ha:** El efecto de adición de partículas de plástico reciclado influirá en las propiedades físico-mecánicas de pavimento.

## **CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Recolección de datos**

Para la elaboración y dosificación de las briquetas de asfalto, los agregados fueron procedentes de la cantera ubicada en la Provincia de Tungurahua. Posterior se realizó los ensayos respectivos de acuerdo a la normalización para briquetas tradicionales como para las modificadas con contenido de plástico a fin de determinar los resultados idóneos.

#### **3.1.1. Fuente de extracción de agregados pétreos**

Los agregados pétreos se obtuvieron de la cantera propiedad de la Planta Asfáltica de Constructora Alvarado CIA. LTDA del sector de las viñas procedentes del cantón Ambato, de todo tipo de agregados para la fabricación de asfaltos para el sector de la Sierra específicamente para la provincia de Tungurahua.

Los agregados pétreos se evaluaron en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Obras Públicas del Ilustre Municipio de Ambato.

#### **3.1.2. Ensayos previos**

##### **3.1.2.1. *Granulometría***

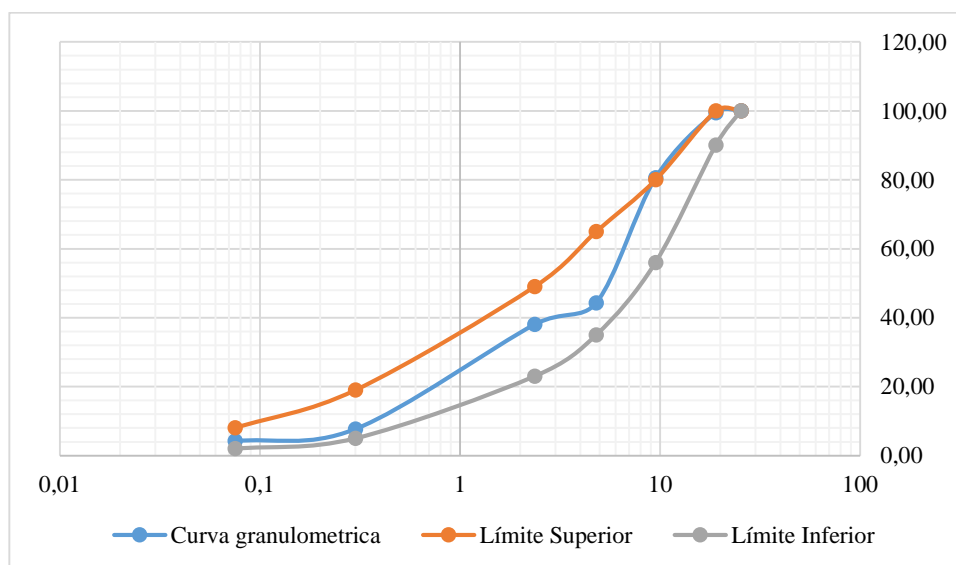
Se utiliza principalmente para la graduación de materiales a utilización de áridos finos y gruesos en hormigón o para otros propósitos. Dado que estos resultados permiten el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas de acuerdo a los requerimientos de las especificaciones aplicables para el punto de control de mezcla.

**Tabla 16.-** Granulometría de agregados pétreos

Tamiz		Peso retenido en g		% Retenido acumulado	% Que pasa	Que pasa a través de los tamices de malla	
Pulg	Mm	G	Acumulado				
1" (25.4 mm)	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
¾" (19.0 mm)	19,00	7,23	0,60	0,60	99,40	90	100
½" (12.7 mm)	12,70	102,84	8,57	9,18	90,82		
3/8" (9.50 mm)	9,50	123,51	10,30	19,47	80,53	56	80
N°4	4,80	434,75	36,24	55,71	44,29	35	65
N°8	2,36	75,23	6,27	61,98	38,02	23	49
N°16	1,18	130,68	10,89	72,88	27,12		
N°30	0,60	120,34	10,03	82,91	17,09		
N°50	0,30	112,60	9,39	92,29	7,71	5	19
N° 100	0,15	28,12	2,34	94,64	5,36		
N° 200	0,08	14,02	1,17	95,81	4,19	2	8
Pasa #200	0,01	50,29	4,19	100,00	0,00		
	Σ=	1200,00	100,00				

**FUENTE:** Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato

**Figura 9.-** Curva de granulometría



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

De acuerdo al gráfico anterior se observa que los agregados pétreos obtenidos de la cantera de la Constructora Alvarado CIA LTDA en el cantón Ambato, se encuentran dentro de los requisitos de graduación que establece MOP 2002 de las Especificaciones Generales a la Construcción de vías a fin de que este material es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica.

### 3.1.2.2. *Gravedad específica y absorción de los agregados finos, ASTM C127 (INEN 856)*

El cálculo de la gravedad específica y de la absorción de los agregados finos para arena se basa a la norma INEN 856 que se desarrolla en la Tabla 16. Con las siguientes ecuaciones:

**Ecuación [28]** Peso suelo seco:

$$W_s = 306.3 \text{ gr} - 255.4 \text{ gr}$$

$$W_s = 50.9 \text{ gr}$$

**Ecuación [29]** Peso del picnómetro + agua + suelo seco:

$$W_{bw} + W_s = 646.2 \text{ gr} + 50.9 \text{ gr} = 697,1 \text{ g}$$

**Ecuación [30]** Desplazamiento del agua:

$$(W_s + W_{bw}) - W_{bws} = (50.9 \text{ gr} + 646.2 \text{ gr}) - 676.8 \text{ gr} = 20,3 \text{ gr}$$

Temperatura 18,3°C de acuerdo al factor de corrección por temperatura de 0,99854 (K)

**Ecuación [31]** Gravedad específica:

$$G_s = \frac{48,9 \text{ gr} * 0,99854}{255,4 \text{ gr} + 646,2 \text{ gr} - 676,8 \text{ gr}} = 2,50 \text{ gr/cm}^3$$

**Ecuación [32]** Gravedad específica aparente de las partículas secas

$$SSS = \frac{255,4 \text{ gr} * 0,99854}{255,4 \text{ gr} + 646,2 \text{ gr} - 676,8 \text{ gr}} = 2,13 \text{ gr/cm}^3$$

**Ecuación [33]** Gravedad específica aparente de las partículas secas

$$GsA = \frac{48,9 \text{ gr} * 0.9990}{48,9\text{gr} + 646,2 \text{ gr} - 676,8\text{gr}} = 2,54 \text{ gr/cm}^3$$

**Ecuación [34]** Porcentaje de absorción

$$\% \text{ de absorción} = \frac{255,4\text{gr} - 48,9 \text{ gr}}{255,4 \text{ gr}} = 0,81\%$$

**Tabla 17.-** Gravedad específica y absorción agregado fino

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>EFEECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>				
<b>Gravedad Específica del Agregado Fino</b>				
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua			
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara			
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022			
<b>Norma:</b>	INEN 856			
Descripción		Valor	Unidad	
Temperatura del agua y suelo en °C		18,30	°C	
Peso recipiente + suelo seco		306,30	gr	
Peso recipiente (Wr)	Wr	255,40	gr	<b>A</b>
Peso del suelo seco (Ws)	Ws	48,90	gr	<b>B</b>
Peso del picnómetro + agua (Wbw)	Wbw	646,20	gr	<b>C</b>
Ws + Wbw	Ws + Wbw	697,10	gr	
Peso picnómetro + agua + suelo (gr)	Wbws	676,80	gr	<b>D</b>
Desplazamiento del agua (gr)	Ws+Wbw -Wbws	20,30	gr	
Factor de corrección por temperatura (K)	T=K	0,99	gr/cm3	<b>K</b>
Gravedad Específica (Gs)	Gs= ((Ws*K)/(Ws+Wbw-Wbws))	<b>2,67</b>	gr/cm3	

**FUENTE:** Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato

Los resultados obtenidos de acuerdo a la Norma INEN 856, indica que el valor de densidad relativa es de 2,67 gr/cm<sup>3</sup>, demuestra que está dentro del rango permisible de 2,72 a 2,56 gr/cm<sup>3</sup>. Al igual que el valor de 0,81% de absorción es aceptable dado que los rangos permisibles están entre 0,40 a 2,50% de absorción.

### 3.1.2.3. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos, ASTM C127 (INEN 857)

Se determinó la gravedad específica y absorción de los agregados gruesos para ripio basada en la Norma INEN 857 desarrollada en la TABLA 16 con las siguientes ecuaciones:

**Ecuación [35]** Peso suelo seco (A):

$$W_s = 4963.00\text{gr} - 257.60\text{gr}$$

$$\mathbf{W_s = 4705.40\text{gr}}$$

**Ecuación [36]** Peso suelo SSS (B):

$$W_{sss} = 6042.00\text{gr} - 1265.00\text{gr}$$

$$\mathbf{W_{sss} = 4777.00\text{gr}}$$

**Ecuación [37]** Peso suelo sumergido (C):

$$W_{ss} = 4001.00\text{gr} - 1096.00\text{gr}$$

$$\mathbf{W_{ss} = 2905.00\text{gr}}$$

Temperatura 16°C de acuerdo al factor de corrección por temperatura de 0,9990 (K)

**Ecuación [38]** Gravedad específica:

$$G_s = \frac{4705.40\text{gr} * 0.9990}{4777.00\text{gr} - 2905\text{gr}} = 2,51\text{ gr/cm}^3$$

**Ecuación [39]** Gravedad específica aparente de las partículas secas

$$SSS = \frac{4705.40\text{gr} * 0.9990}{4705.40\text{gr} - 2905\text{gr}} = 2,61\text{ gr/cm}^3$$

**Ecuación [40]** Gravedad específica aparente de las partículas secas



$$G_{sA} = \frac{4705.40\text{gr} * 0.9990}{4705.40\text{gr} - 2905\text{gr}} = 2,61\text{ gr/cm}^3$$

**Ecuación [41]** Porcentaje de absorción

$$\% \text{ de absorción} = \frac{4777.00\text{gr} - 4705.40\text{gr}}{4705.40\text{gr}} = 1,52\%$$



Tabla 18.- Gravedad específica y absorción agregado grueso

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>EFFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>				
<b>Gravedad Específica del Agregado Grueso</b>				
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua			
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara			
<b>Fecha:</b>	Lunes, 06 de junio del 2022			
<b>Norma:</b>	INEN 857			
	Descripción		Valor	Unidad
	Peso recipiente		257,60	gr
	Peso recipiente + suelo seco		4963,00	gr
	Peso suelo seco		4705,40	gr
AIRE	Peso canastilla + suelo SSS		6042,00	gr
	Peso canastilla		1265,00	gr
	Peso suelo SSS	<b>B</b>	4777,00	gr
AGUA	Peso canastilla + suelo sumergido		4001,00	gr
	Peso canastilla sumergida		1096,00	gr
	Peso suelo sumergido	<b>C</b>	2905,00	gr
SECO	Peso canastilla + suelo seco		5970,40	gr
	Peso canastilla (en el aire)		1265,00	gr
	Peso suelo seco	<b>A</b>	4705,40	gr
	Temperatura de agua y suelo		16,00	°C
	Factor de corrección por temperatura	<b>K</b>	0,99	gr/cm <sup>3</sup>
	Densidad aparente de los sólidos (A*K)/(B-C)		2,51	gr/cm <sup>3</sup>
	Gravedad específica (A*K)/(A-C)		<b>2,61</b>	gr/cm <sup>3</sup>



FUENTE: Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato

Los resultados obtenidos de acuerdo a la Norma INEN 857, indica que el valor de gravedad específica es de 2,61 gr/cm<sup>3</sup>, está dentro del rango permisible máximo de 2,70 gr/cm<sup>3</sup>. Por ende, el valor de 1,52% es aceptable dado que el rango máximo permisible es de 3,10% de absorción.

#### 3.1.2.4. *Desgaste por abrasión del agregado grueso, Norma AASHTO T96 (ASTM C131)*

Se determinó la resistencia por desgaste de abrasión mediante la máquina de los Ángeles con carga abrasiva, los orígenes del material pétreo fueron de la planta asfáltica de la Constructora Alvarado proveniente de la cantera de las viñas en la ciudad de Ambato.

**Tabla 19.-** Ensayo de abrasión

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 	
<b>Ensayo de abrasión</b>	
<b>Porcentaje de caras fracturadas</b>	
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022
<b>Norma:</b>	INEN 860
<b>Muestra:</b>	Material granular tamaño 4,75 mm.
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
Peso muestra antes del ensayo	5000,00 gr
Peso muestra después del ensayo ret # 12	3215,20 gr
Peso muestra pasa # 12	1784,80 gr
% desgaste	<b>35,70 %</b>



**FUENTE:** Laboratorio de Suelos de la Ilustre Municipalidad de Ambato

Los resultados obtenidos de acuerdo a la Norma INEN 860, indica que el valor de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles es de 35,70% estableciendo que se encuentra dentro del rango permisible de 10% a 45% de pérdida de masa por desgaste.

#### **3.1.2.5. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados, Norma ASTM D5821-95**

Este ensayo permitió la determinación del porcentaje de caras fracturadas en los agregados de acuerdo a la forma y textura de la superficie del mismo, determinando en porcentaje de la fractura de las caras de la partícula para realizar la clasificación general del material.

**Tabla 20.-** Porcentaje de caras fracturadas

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>			
<b>Porcentaje de caras fracturadas</b>			
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua		
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara		
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022		
<b>Norma:</b>	ASTM D 58221-95		
<b>Descripción</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso de partículas fracturadas	F	885,00	gr
Peso de partículas cuestionables	Q	423,00	gr
Peso partículas no fracturadas	N	6,00	gr
% de caras fracturadas	P	<b>83,40</b>	%

**FUENTE:** Laboratorio de Suelos de la Ilustre Municipalidad de Ambato

Los resultados obtenidos se obtuvieron de acuerdo a la Norma ASTM D5821-95 para el porcentaje de caras fracturadas en los agregados pétreos. Por lo cual para determinar la calidad de los agregados para bases granulares de clase C debe ser mínimo de 50% en este caso el resultado presenta un 83,40% no cumple con esta condición, pero supera la base granular clase B de 70%, siendo así que se puede utilizar como base granular de clase A de 100%.

### 3.1.3. Método Marshall (Norma ASTM D1559)

#### 3.1.3.1. *Diseño de mezcla asfáltica tradicional*

Tabla 21.- Contenido de porcentajes de agregados pétreos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		FICM		
EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO				
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua			
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara			
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022			
<b>Norma:</b>	INEN 969			
<b>Masa de agregado:</b>	1200 g			
Tamiz	% Pasa	%Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Parcial
3/4" (19.0 mm)	100%	0 %	0 %	0 gr
1/2" (12.7 mm)	-	0 %	0 %	0 gr
3/8" (9.50 mm)	85%	5 %	5 %	60 gr
N°4 (4.75 mm)	50%	50 %	45 %	540 gr
N°8 (2.36 mm)	40%	60 %	10 %	120 gr
N°50 (0.30 mm)	15%	85 %	25 %	300 gr
N° 200 (0.075 mm)	5%	95 %	10 %	120 gr
Pasa #200	0%	100 %	5 %	60 gr

FUENTE: Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato



#### 3.1.3.2. *Procedimiento de elaboración de briquetas asfálticas*

El procedimiento permitió que el peso de las fracciones de agregados pétreos indicados en la Tabla 16.- (granulometría) completando la cantidad de 1200g por cada briqueta elaborada.

El Criterio Marshall especifica que el 60% es de agregados gruesos, 30% es de agregado fino y 10% es de fondo. Dado que lo que pasa por el tamiz N°4 es el porcentaje de agregados finos separados de los agregados gruesos para la elaboración de briquetas asfálticas tradicionales manifestado en Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002. Tabla 405.5.1 [15].

El porcentaje del bitumen es lo que varía en cada briqueta inicialmente se realizó con el 6%, continuando con el 6,5% y culminando con el 7% a fin de identificar el porcentaje óptimo de bitumen para asfaltos tradicionales en caliente de planta.

Tabla 22.- Criterio Marshall

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>EFEECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>				
<b>Origen:</b>		Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua		
<b>Ensayado por:</b>		Alex Javier Vargas Guevara		
<b>Fecha:</b>		Lunes, 06 de junio del 2022		
6% de bitumen				
Tamiz	Descripción	% Parcial	Peso	Unidad
3/4" (19.0 mm)	Agregado grueso 60%	0,0 %	0	gr
1/2" (12.7 mm)		0,0 %	0	gr
3/8" (9.50 mm)		15,00%	180	gr
N°4 (4.75 mm)		45,00%	540	gr
N°8 (2.36 mm)	Agregado fino 30%	11,00%	132	gr
N°50 (0.30 mm)		7,00%	84	gr
N° 200 (0.075 mm)		12,00%	144	gr
Pasa #200	Fondo 10%	10,00%	120	gr
Bitumen	Cemento asfáltico	6,00%	72	gr
<b>Total</b>		<b>100,0%</b>	<b>1200</b>	<b>gr</b>
6,5% de bitumen				
Tamiz	Descripción	% Parcial	Peso	Unidad
3/4" (19.0 mm)	Agregado grueso 60%	0,0 %	0	gr
1/2" (12.7 mm)		0,0 %	0	gr
3/8" (9.50 mm)		15,00%	180	gr
N°4 (4.75 mm)		45,00%	540	gr
N°8 (2.36 mm)	Agregado fino 30%	11,00%	132	gr
N°50 (0.30 mm)		7,00%	84	gr
N° 200 (0.075 mm)		12,00%	144	gr
Pasa #200	Fondo 10%	10,00%	120	gr
Bitumen	Cemento asfáltico	6,5 %	78	gr
<b>Total</b>		<b>100,0 %</b>	<b>1200</b>	<b>gr</b>
7,0% de bitumen				
Tamiz	Descripción	% Parcial	Peso	Unidad
3/4" (19.0 mm)	Agregado grueso 60%	0 %	0	gr
1/2" (12.7 mm)		0 %	0	gr
3/8" (9.50 mm)		15,00%	180	gr
N°4 (4.75 mm)		45,00%	540	gr
N°8 (2.36 mm)	Agregado fino 30%	11,00%	132	gr
N°50 (0.30 mm)		7,00%	84	gr
N° 200 (0.075 mm)		12,00%	144	gr
Pasa #200	Fondo 10%	10,00%	120	gr
Bitumen	Cemento asfáltico	7,0 %	84	gr
<b>Total</b>		<b>100,0 %</b>	<b>1200</b>	<b>gr</b>

FUENTE: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002.

Tabla 405.5.1

### 3.1.4. Ensayo en las briquetas asfálticas tradicionales



#### 3.1.4.1. Ensayo de estabilidad y flujo

El ensayo de estabilidad y flujo se realizó en las briquetas con el porcentaje de bitumen de 6%, 6,5% y 7%, en 3 pesos al aire, saturado superficie seca y sumergido.

### 3.1.4.2. *Análisis de la densidad y vacíos*

Se ensayó de acuerdo al Ensayo Rice. El porcentaje de asfalto absorbido por los agregados pétreos y volumen actual de los vacíos de la mezcla no compactada a 25°C.

**Tabla 23.-** Valor RICE de briquetas asfálticas tradicional

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
<b>EFFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>		
<b>Determinación Rice Gmm</b>		
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua	
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara	
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022	
<b>6% de bitumen</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C	7150,12	gr
Peso frasco	3041,53	gr
Peso muestra + frasco	4109,22	gr
A Peso muestra	1067,71	gr
E Peso muestra + frasco + agua a 25°C	7753,25	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,29</b>	gr
<b>6,5% de bitumen</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C	7150,12	gr
Peso frasco	3041,52	gr
Peso muestra + frasco	4098,95	gr
A Peso muestra	1057,45	gr
E Peso muestra + frasco + agua a 25°C	7753,21	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,33</b>	gr
<b>7% de bitumen</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C	7150,10	gr
Peso frasco	3041,53	gr
Peso muestra + frasco	4066,84	gr
A Peso muestra	1025,35	gr
E Peso muestra + frasco + agua a 25°C	7753,24	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,43</b>	gr

**FUENTE:** Laboratorio de Suelos de la Ilustre Municipalidad de Ambato

### 3.1.4.3. *Procedimiento de cálculo*

Para el cálculo para diseñar las mezclas de Marshall, vinculando con el formulario a fin de realizar el detalle de las propiedades en la tabla 20.

**Tabla 24.- Método Marshall briqueta tradicional**

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS PARA DISEÑO (Gagr)						2,585	PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (Gasf):						0,743						
MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\%Agreg + \frac{\%CA}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	Método RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I \times H \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times G}{Gagr}$	$(1 - \frac{G}{L}) \times 100$	$100 - K -$	$100 - K$	$\%CA - \frac{J \times \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$			$Q \times R$	
Tt1.1	6.0	7,00	1256,40	1116,8	558,50	2,25										7657,00	0,86	6569,76	12
Tt1.2	6.0	6,60	1149,50	1101,2	551,80	2,09										6687,00	0,93	6218,95	15
Tt1.3	6.0	7,20	1136,50	1183,6	679,50	2,25										6089,00	0,82	5011,23	12
Σ						2,19	2,34	2,29	3,34	77,05	13,23	9,86	23,04	2,87	42,77			5933,33	11
Tt2.1	6.5	6,40	1173,60	1194,4	673,42	2,25										7143,04	0,98	6985,94	10
Tt2.2	6.5	6,70	1256,40	1118,8	568,53	2,28										5887,02	0,92	5433,74	9
Tt2.3	6.5	6,50	1154,30	1145,9	587,93	2,07										5843,05	0,93	5457,42	5
Σ						2,20	2,32	2,33	1,66	76,74	13,12	10,25	23,34	4,95	43,95			5959,01	11
Tt3.1	7.0	6,80	1233,80	1234,5	663,41	2,16										6415,04	0,90	5760,71	11
Tt3.2	7.0	6,40	1154,30	1135,9	587,92	2,11										6212,02	0,98	6056,77	10
Tt3.3	7.0	6,90	1215,10	1216,7	628,54	2,06										6278,06	0,88	5505,87	11
Σ						2,11	2,29	2,43	0,42	73,50	13,15	13,47	26,55	6,61	50,64			5774,42	11

FUENTE: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002. Tabla 405.5.1

Los valores obtenidos nos permitirán dibujar las curvas correspondientes de la mezcla asfáltica relacionando entre:

- Peso específico Bulk/Contenido de bitumen

- Índice de vacíos en aire/ contenido de bitumen
- Vacíos en agregados minerales/contenido de bitumen
- Estabilidad / contenido de bitumen
- Flujo o deformación/contenido de bitumen
- Porcentaje de vacíos llenos de bitumen/contenido de bitumen

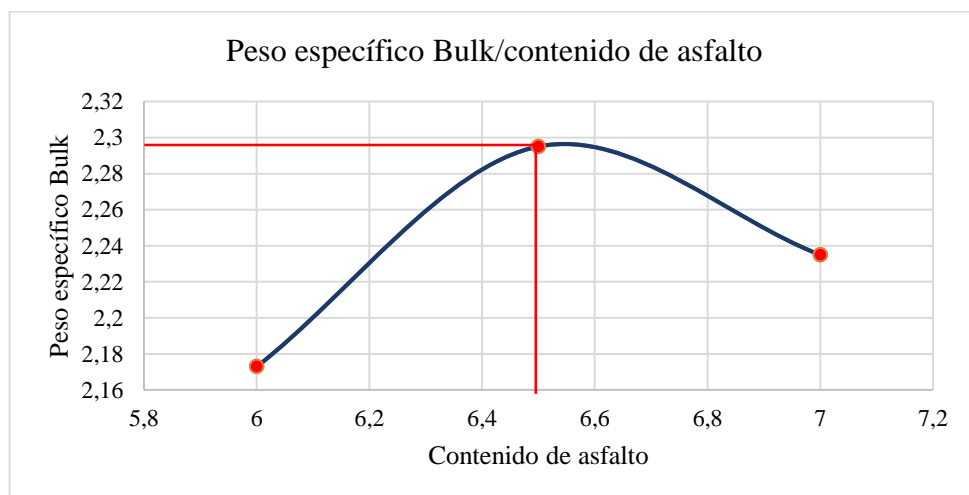
#### 3.1.4.4. *Curvas de diseño*

La carpeta trabajada es de franja  $\frac{3}{4}$ ", la determinación del contenido óptimo de bitumen se toma en cuenta a las curvas representados en los gráficos, de los cuales se comparó con el contenido de asfalto de acuerdo a lo siguiente:

- El % bitumen para la máxima densidad/peso específico: nos da un valor de gráfico de 6,3%
- El % bitumen correspondiente de 4% como índice de vacíos la gráfica indica 6%
- El % de la máxima estabilidad corresponde al valor de la gráfica de 7%

Es así que de acuerdo a estos valores que se identifica que el porcentaje óptimo de asfalto en la planta de asfalto de la Constructora Alvarado es de 6,5% equivalente al porcentaje de 74 gr.

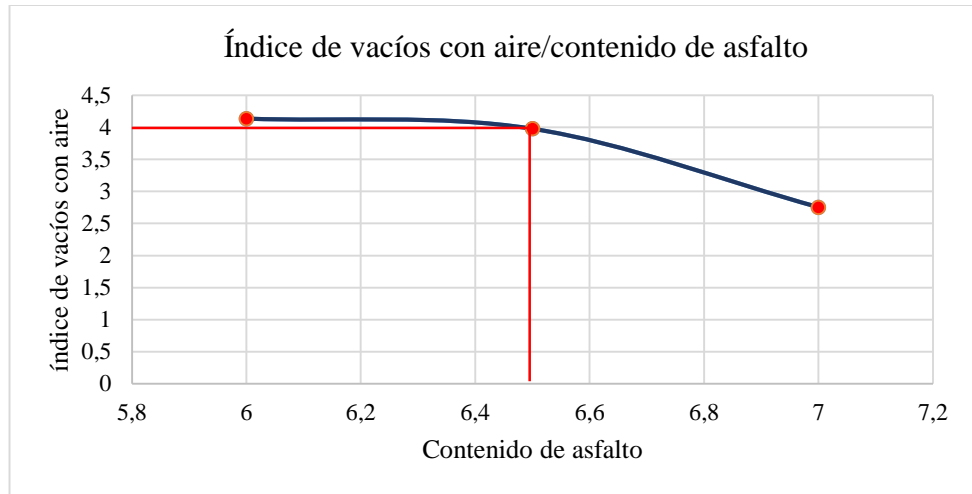
**Figura 10.-** Peso específico Bulk/Contenido de asfalto



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

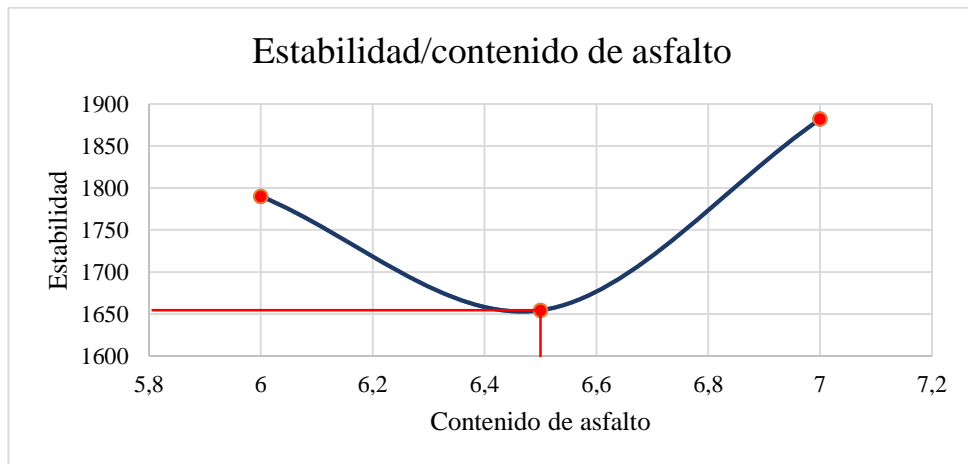


**Figura 11.- Índice de vacíos en aire/ contenido de asfalto**



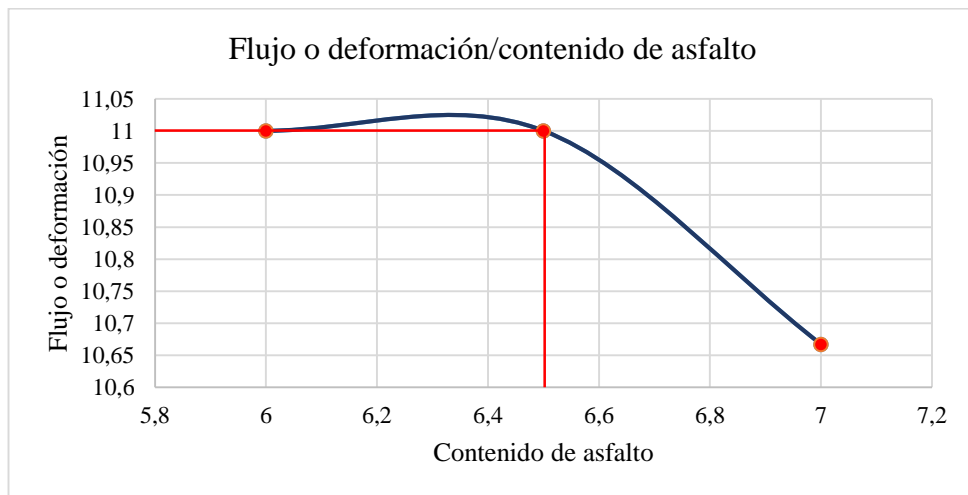
**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 12.- Estabilidad / contenido de asfalto**



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 13.- Flujo o deformación/contenido de asfalto**



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

### **3.1.5. Diseño de mezcla asfáltica modificada**

#### **3.1.5.1. *Preparación de briquetas***

Se sometió a los siguientes ensayos:

- Ensayos de estabilidad y flujo
- Análisis de la densidad y vacíos
- Determinación del peso específico “Bulk”

#### **3.1.5.2. *Ensayo de estabilidad y flujo***

Al igual que la briqueta tradicional, la modificada se sometió a:



- Peso en aire
- Peso saturado por superficie seca
- Peso sumergido

A fin de obtener la estabilidad Marshall de cada una de las briquetas modificadas obtenidas en el estudio. Mediante el ensayo Marshall para ensayar las briquetas modificadas.

#### **3.1.5.3. *Análisis de la densidad y vacíos para mezcla asfáltica de 15%***

Se aplicó para este análisis el ensayo Rice a fin de determinar la densidad y vacíos en las briquetas modificadas.

**Tabla 25.-** Ensayo RICE briquetas modificadas con el 15%

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
<b>EFFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>		
<b>Determinación Rice Gmm</b>		
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua	
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara	
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022	
<b>6% de bitumen</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C	7150,14	gr
Peso frasco	3041,52	gr
Peso muestra + frasco	4258,23	gr
A Peso muestra	1216,74	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C	7845,00	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,33</b>	gr
<b>6,5% de bitumen</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C	7150,11	gr
Peso frasco	3041,55	gr
Peso muestra + frasco	4238,63	gr
A Peso muestra	1197,16	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C	7849,42	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,41</b>	gr
<b>7% de bitumen</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C	7150,16	gr
Peso frasco	3041,53	gr
Peso muestra + frasco	4198,65	gr
A Peso muestra	1157,13	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C	7849,43	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,53</b>	gr

**FUENTE:** Laboratorio de Suelos de la Ilustre Municipalidad de Ambato

#### **3.1.5.4.      *Diseño del cálculo de método Marshall modificada con 15%***

Los datos obtenidos de las mezclas asfálticas modificadas al 15% de partículas de plástico mediante las siguientes relaciones que se detallan a continuación:

**Tabla 26.- Método Marshall con briquetas modificadas con 15%**

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS PARA DISEÑO (Gagr)			2,585	PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (Gasf):									0,743							
MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100T	
			% DE PLÁSTICO GR	SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE				ASFALTO EFECTIVO	LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCIÓN		ESTABILIDAD CORREGIDA
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	Método RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I \times H \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times K}{Gagr}$	$(1 - \frac{G}{I}) \times 100$	$\frac{100-K}{-L}$	$100 - K$	$\frac{\%CA}{100} - \frac{J \times \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$			$Q \times R$		
1.1.1	6.0	6,50	10,80	1123,13	1125,46	610,85	2,18									4089,07	0,93	3819,16	7	
1.1.2	6.0	6,60	10,80	1102,24	1104,34	592,84	2,15									4563,04	0,93	4243,63	9	
1.1.3	6.0	6,70	10,80	1019,92	1011,36	567,83	2,30									4098,07	0,92	3782,56	10	
<b>Σ</b>							2,21	2,34	2,33	2,64	77,04	12,72	10,36	23,03	3,51	44,97			3948,43	9
1.2.1	6.5	6,70	11,70	1206,01	1209,92	666,84	2,22									4352,07	0,92	4016,92	14	
1.2.2	6.5	6,50	11,70	1191,61	1194,31	668,76	2,27									4209,04	0,93	3931,26	13	
1.2.3	6.5	6,80	11,70	1206,56	1211,61	666,13	2,21									3908,03	0,90	3509,43	16	
<b>Σ</b>							2,23	2,32	2,41	1,21	77,82	11,86	10,44	22,26	5,37	46,85			3819,22	14
1.3.1	7.0	6,40	12,60	1123,16	1125,44	610,82	2,18									5098,08	0,98	4985,85	10	
1.3.2	7.0	6,80	12,60	1112,24	1114,36	592,84	2,13									3981,05	0,90	3574,96	9	
1.3.3	7.0	6,70	12,60	1032,93	1033,33	571,86	2,24									4345,03	0,92	4010,47	12	
<b>Σ</b>							2,18	2,29	2,53	0,37	76,10	13,84	10,22	23,97	6,63	42,58			4190,45	10

FUENTE: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002. Tabla 405.5.1

### 3.1.5.5. *Curvas de diseño de briqueta modificada 15%*

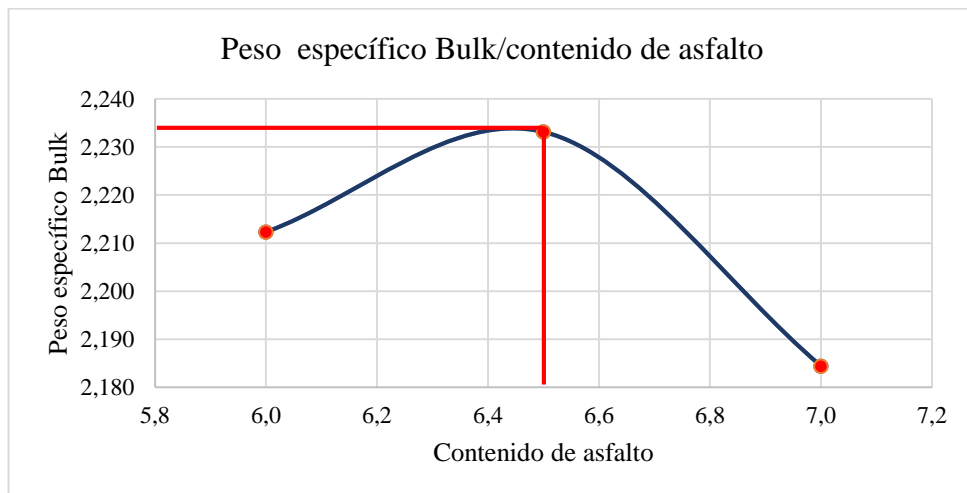
A fin de determinar el contenido óptimo de bitumen con la carpeta  $\frac{3}{4}$ " de la franja tomado en cuenta las curvas representadas en los siguientes gráficos de las briquetas asfálticas modificadas.

De acuerdo a ello el siguiente detalle con el porcentaje de 15%:

- El porcentaje de cemento asfáltico a su máxima densidad nos indica un valor de 6,5%
- El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% en índice de los vacíos de las briquetas es de 7%
- En cuanto al porcentaje de cemento asfáltico correspondiente a la máxima estabilidad es de 6,6%

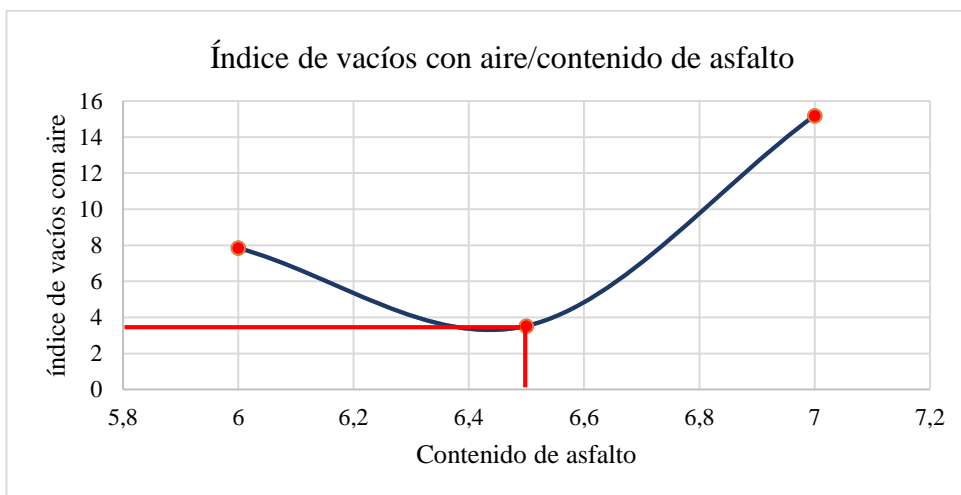
Dado que su promedio equivale al porcentaje óptimo de asfalto con un valor de 6,7%, es así que equivale a 80,4 g de bitumen; con el 15% de plástico reciclado.

**Figura 14.-** Peso específico Bulk/Contenido de asfalto



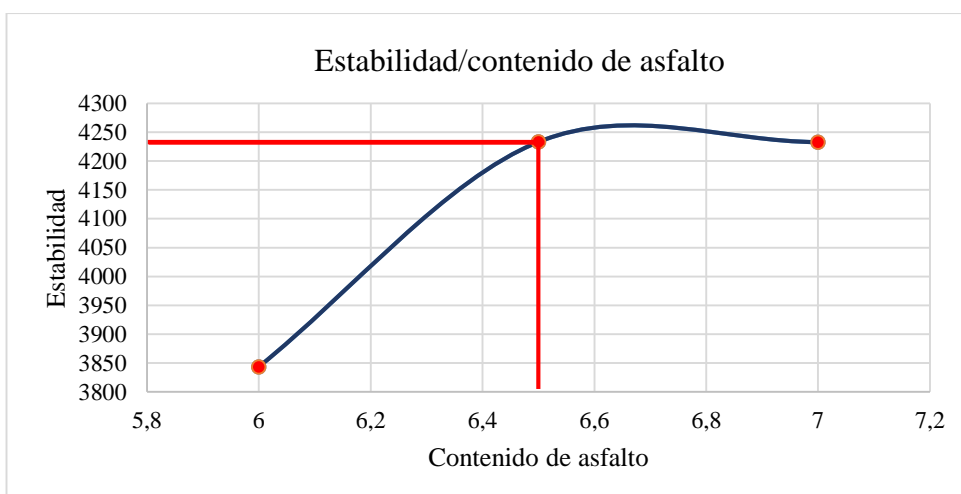
**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 15.-** Índice de vacíos en aire/ /Contenido de asfalto



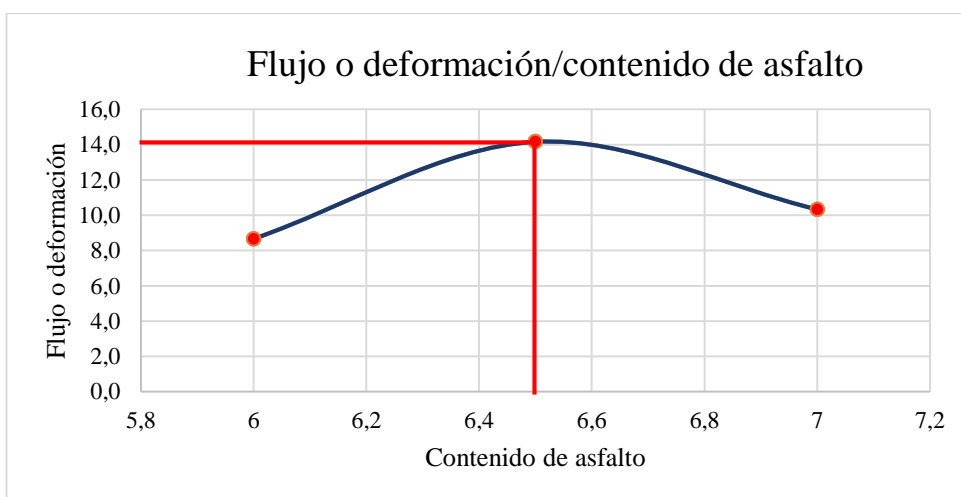
**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 16.-** Estabilidad/Contenido de asfalto



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 17.-** Flujo o deformación/contenido de asfalto



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

### 3.1.5.6. *Análisis de la densidad y vacíos para mezcla asfáltica de 20%*

Se aplicó para este análisis el ensayo Rice a fin de determinar la densidad y vacíos en las briquetas modificadas.

**Tabla 27.-** Ensayo RICE briquetas modificadas con el 20%

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>EFFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>			
<b>Determinación Rice Gmm</b>			
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua		
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara		
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022		
<b>6% de bitumen</b>			
<b>Descripción</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C		7150,15	gr
Peso frasco		3041,56	gr
Peso muestra + frasco		4298,96	gr
A Peso muestra		1257,44	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C		7852,27	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>		<b>2,26</b>	gr
<b>6,5% de bitumen</b>			
<b>Descripción</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C		7150,16	gr
Peso frasco		3041,54	gr
Peso muestra + frasco		4287,26	gr
A Peso muestra		1245,76	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C		7852,23	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>		<b>2,29</b>	gr
<b>7% de bitumen</b>			
<b>Descripción</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C		7150,14	gr
Peso frasco		3063,45	gr
Peso muestra + frasco		4299,53	gr
A Peso muestra		1236,16	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C		7852,25	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>		<b>2,32</b>	gr

**FUENTE:** Laboratorio de Suelos de la Ilustre Municipalidad de Ambato

### 3.1.5.7. *Diseño del cálculo de método Marshall modificada con 20%*

Los datos obtenidos de las mezclas asfálticas modificadas del 20% de partículas de plástico mediante las siguientes relaciones que se detallan a continuación:

**Tabla 28.- Método Marshall con briquetas modificadas con 20%**

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS PARA DISEÑO (Gagr)			2,585		PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (Gasf):							0,743							
MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100T
			% DE PLÁSTICO GR	SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE				ASFALTO EFECTIVO	LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCIÓN	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	Método RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I \times H \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times \left(1 - \frac{G}{L}\right) \times 100}{Gagr}$	$\frac{100-K}{L}$	$100-K$	$\frac{\%CA}{100} - \frac{J \times \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 10$			$Q \times R$		
1.1.1	6.0	6,60	14,40	1122,25	1124,55	609,94	2,18									4532,06	0,93	4214,83	10
1.1.2	6.0	6,50	14,40	1101,13	1103,53	604,32	2,27									4089,08	1,28	5217,62	12
1.1.3	6.0	6,70	14,40	978,87	981,33	536,46	2,20									4041,05	0,92	3729,86	7
Σ	-						2,19	2,35	2,26	2,68	76,57	13,33	10,27	23,54	3,48	43,43		5051,64	8
1.2.1	6.5	6,50	15,60	1031,45	1032,57	557,30	2,17									4342,04	0,93	4055,45	14
1.2.2	6.5	6,70	15,60	1041,27	1043,85	559,78	2,15									4345,00	0,92	4010,43	10
1.2.3	6.5	6,40	15,60	1100,74	1103,24	596,36	2,17									3551,02	0,98	3472,96	15
Σ	-						2,16	2,32	2,29	1,23	75,42	14,68	10,14	24,64	5,35	40,92		4176,74	10
1.3.1	7.0	6,54	16,80	1131,38	1132,17	616,48	2,19									3998,06	0,93	3734,16	14
1.3.2	7.0	6,73	16,80	1057,24	1058,76	571,85	2,17									4410,05	0,92	4070,44	11
1.3.3	7.0	6,76	16,80	995,57	996,24	542,36	2,19									4398,03	0,92	4059,46	13
Σ	-						2,19	2,29	2,32	0,11	76,14	13,78	10,22	23,92	6,89	42,66		3688,44	12

FUENTE: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002. Tabla 405.5.1

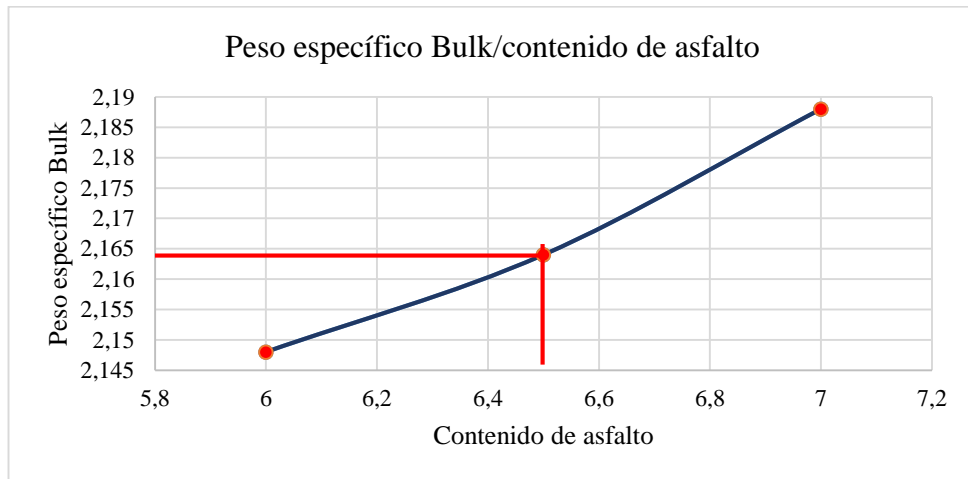


### 3.1.5.8. Curvas de diseño de briqueta modificada 20%

- El porcentaje de cemento asfáltico a su máxima densidad nos indica un valor de 7%
- El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% en índice de los vacíos de las briquetas es de 6%
- En cuanto al porcentaje de cemento asfáltico correspondiente a la máxima estabilidad es de 6%

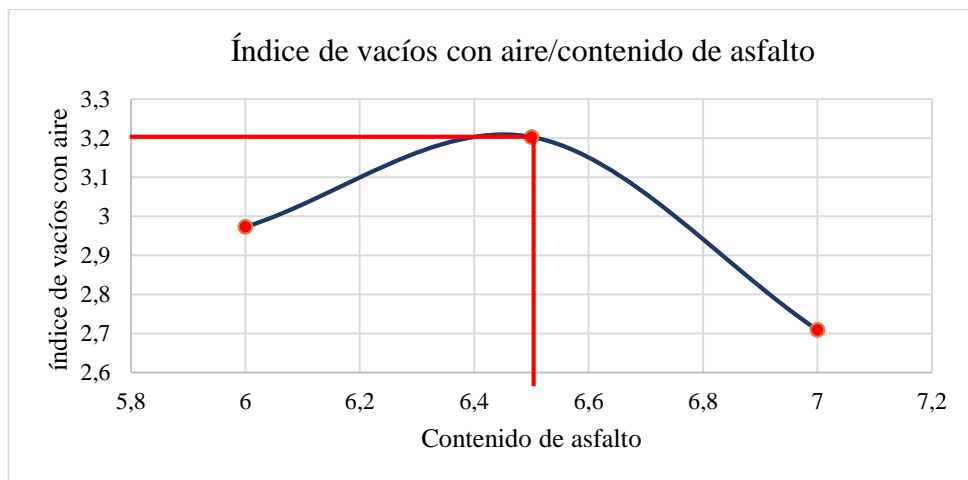
Dado que su promedio equivale al porcentaje óptimo de asfalto con un valor de 6,33%, es así que equivale a 76 g de bitumen, con el 0,20g (20%) de plástico reciclado.

**Figura 18.-** Peso específico Bulk/Contenido de bitumen



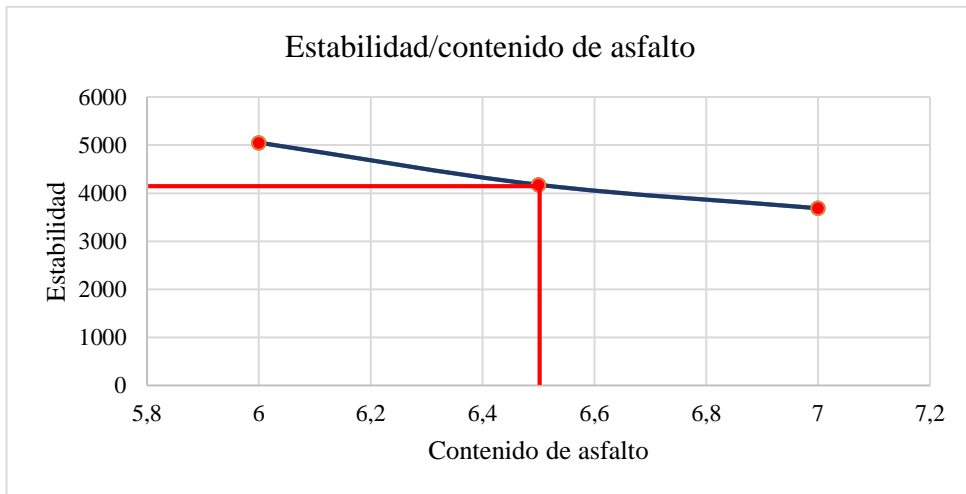
**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 19.-** Índice de vacíos en aire/Contenido de Asfalto



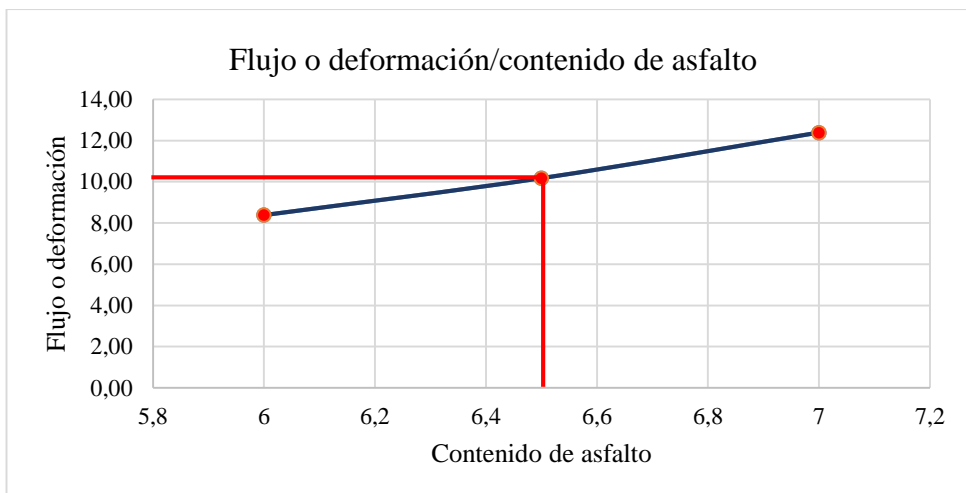
**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 20.-** Estabilidad/Contenido de asfalto



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 21.-** Flujo o deformación/contenido de asfalto



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

### 3.1.5.9. *Análisis de la densidad y vacíos para mezcla asfáltica de 25%*

Se aplicó para este análisis el ensayo Rice a fin de determinar la densidad y vacíos en las briquetas modificadas.

**Tabla 29.-** Ensayo RICE briquetas modificadas con el 25%

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>EFFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>			
<b>Determinación Rice Gmm</b>			
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas – Tungurahua		
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara		
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022		
<b>6% de bitumen</b>			
<b>Descripción</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C		7150,17	gr
Peso frasco		3041,57	gr
Peso muestra + frasco		4207,24	gr
A Peso muestra		1165,75	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C		7852,24	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>		<b>2,51</b>	gr
<b>6,5% de bitumen</b>			
<b>Descripción</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C		7150,13	gr
Peso frasco		3009,57	gr
Peso muestra + frasco		4279,97	gr
A Peso muestra		1270,45	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C		7852,22	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>		<b>2,24</b>	gr
<b>7% de bitumen</b>			
<b>Descripción</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D Peso frasco + agua a 25°C		7150,12	gr
Peso frasco		3041,55	gr
Peso muestra + frasco		4282,84	gr
A Peso muestra		1241,32	gr
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C		7852,24	gr
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>		<b>2,30</b>	gr

**FUENTE:** Laboratorio de Suelos de la Ilustre Municipalidad de Ambato

### **3.1.5.10. Diseño del cálculo de método Marshall modificada con 20%**

Los datos obtenidos de las mezclas asfálticas modificadas del 20% de partículas de plástico mediante las siguientes relaciones que se detallan a continuación:

**Tabla 30.- Método Marshall con briquetas modificadas con 25%**

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS PARA DISEÑO (Gagr)			2,585	PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (Gasf):									0,743							
MUESTRA No.	CONTENIMIENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100T	
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A	B	C	% DE PLÁSTICO GR	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
							$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Aggreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	Método RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I \times H \%Aggreg}$	$\frac{\%Aggreg \times G}{Gagr}$	$(1 - \frac{G}{I}) \times 100$	$\frac{100-K}{-L}$	$100-K$	$\frac{\%CA}{100} - \frac{J \times \%Aggreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$			$Q \times R$	
1.1.1	6.0	6,43	18,00	1031,40	1032,50	557,34	2,17										3323,03	0,98	3249,93	13
1.1.2	6.0	6,84	18,00	1041,20	1043,84	559,73	2,15										3928,02	0,90	3527,36	5
1.1.3	6.0	6,32	18,00	1100,70	1103,23	596,32	2,17										3733,05	1,01	3781,54	15
<b>Σ</b>							2,16	2,35	2,51	2,16	75,46	14,67	10,12	24,68	3,97	40,9			3519,63	11
1.2.1	6.5	6,83	19,50	1203,50	1207,43	661,35	2,20										3762,06	0,90	3378,36	15
1.2.2	6.5	6,72	19,50	1184,30	1190,42	647,25	2,18										3782,03	0,92	3490,86	16
1.2.3	6.5	6,72	19,50	1195,20	1199,07	665,79	2,24										3214,06	0,92	2966,53	16
<b>Σ</b>							2,21	2,32	2,24	1,34	76,92	12,83	10,35	23,17	5,24	44,5			3278,56	16
1.3.1	7.0	6,43	21,00	1110,20	1115,67	596,43	2,14										3454,01	0,98	3378,04	18
1.3.2	7.0	6,84	21,00	1014,20	1016,75	543,82	2,15										3349,05	0,90	3007,43	12
1.3.3	7.0	6,47	21,00	1057,40	1061,63	570,50	2,15										3983,07	0,98	3895,46	11
<b>Σ</b>							2,15	2,29	2,30	0,09	74,75	15,36	10,09	25,34	6,91	39,5			3426,93	14

**FUENTE:** Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002. Tabla 405.5.1

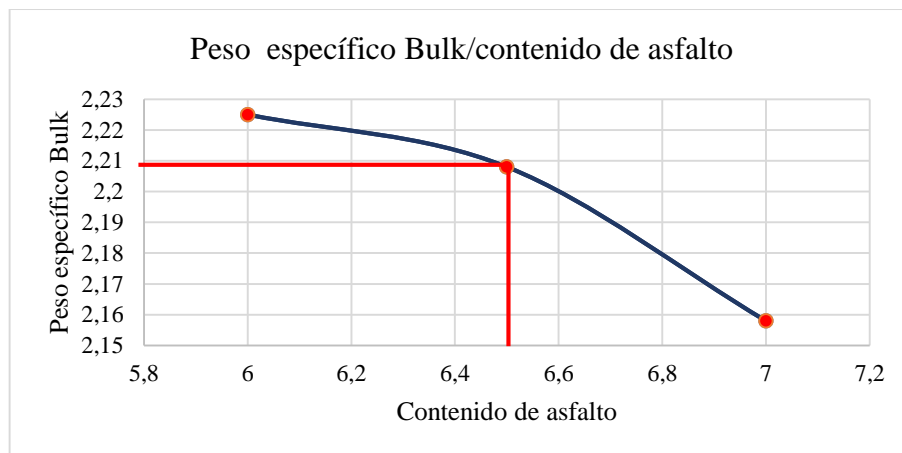
### 3.1.5.11. Curvas de diseño de briqueta modificada 25%

En cuanto al detalle con el 25% de porcentaje:

- El porcentaje de cemento asfáltico a su máxima densidad nos indica un valor de 6%
- El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% en índice de los vacíos de las briquetas es de 6%
- En cuanto al porcentaje de cemento asfáltico correspondiente a la máxima estabilidad es de 6,5%

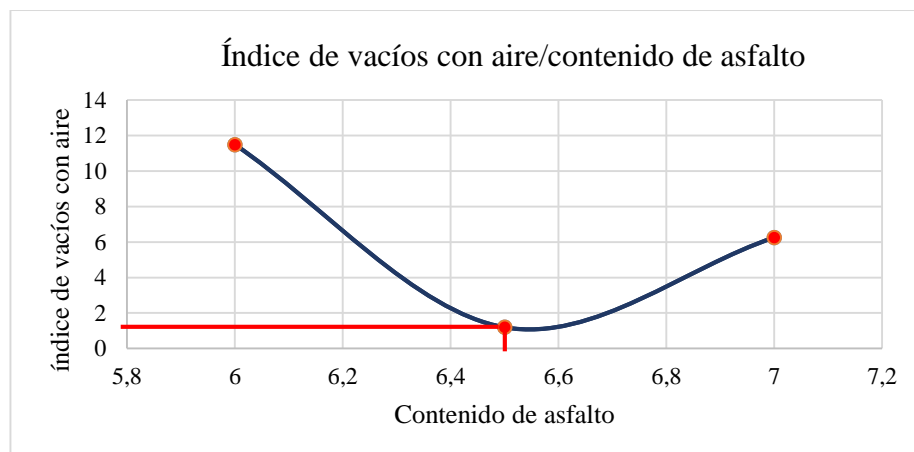
Dado que su promedio equivale al porcentaje óptimo de asfalto con un valor de 6,16%, es así que equivale a 74 g de bitumen, con el 0,25g (25%) de plástico reciclado.

**Figura 22.-** Vacíos en Agregados Minerales/Contenido de Asfalto



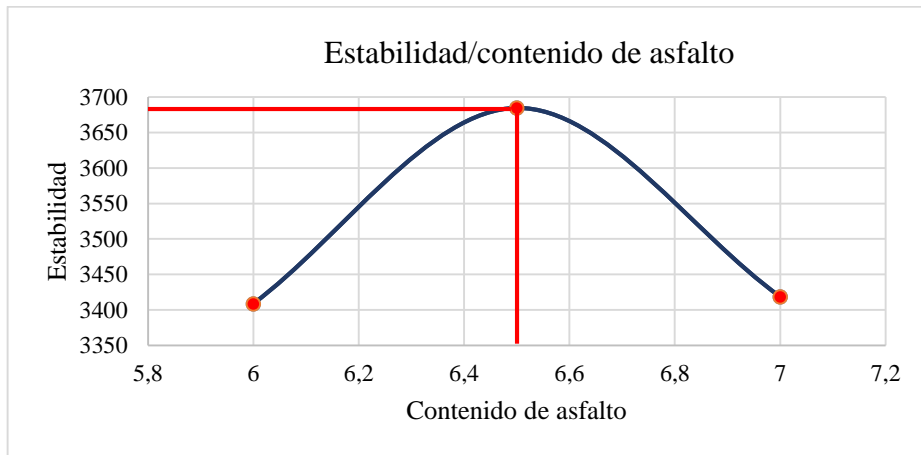
**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 23.-** Índice de vacíos en aire/Contenido de bitumen



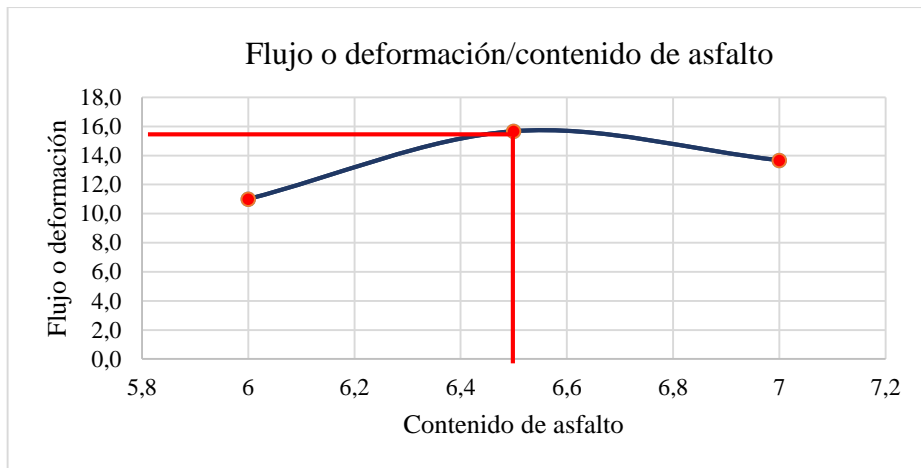
**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

**Figura 24.-** Estabilidad/Contenido de asfalto



FUENTE: Vargas, A. (2022)

**Figura 25.-** Flujo o deformación/contenido de asfalto





FUENTE: Vargas, A. (2022)

### 3.2. Análisis de resultados

#### 3.2.1. Análisis de resultados entre mezcla tradicional y mezclas modificadas

Con que se obtenga el contenido óptimo de cemento asfáltico del diseño de la mezcla final, en cuenta de tres curvas representados en los gráficos anteriores, mediante los contenidos de asfalto de acuerdo a lo siguiente:

**Tabla 31.-** Relación de resultados

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>EFFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO</b>				
<b>Análisis de resultados</b>				
<b>Origen:</b>	Constructora Alvarado, Sector las Viñas - Tungurahua			
<b>Ensayado por:</b>	Alex Javier Vargas Guevara			
<b>Fecha:</b>	lunes, 06 de junio del 2022			
Descripción	Asfalto Tradicional	Asfalto modificado con 15%	Asfalto modificado con 20%	Asfalto modificado con 25%
<b>Peso específico Bulk</b>	6,5 %	6,5 %	7 %	6 %
<b>Máxima estabilidad</b>	7 %	6,6 %	6 %	6,5 %
<b>Densidad</b>	2,20 g/cm <sup>3</sup>	2,24 g/cm <sup>3</sup>	2,17 g/cm <sup>3</sup>	2,21 g/cm <sup>3</sup>
<b>Índice de vacíos en aire</b>	4 %	4 %	3,2 %	1,5 %
<b>Porcentaje de vacíos</b>	11,20 %	10 %	12,4 %	12 %
<b>Estabilidad</b>	1650 lb	4240 lb	4000 lb	3655 lb
<b>Flujo o deformación</b>	11 (1/100 pulg)	14 (1/100 pulg)	10 (1/100 pulg)	16 (1/100 pulg)
<b>Porcentaje de vacíos llenos de asfalto</b>	65 %	69 %	79,5 %	90 %

FUENTE: Laboratorio de Suelos de la Ilustre Municipalidad de Ambato

Los resultados obtenidos del Diseño de Mezclas Marshall, identifica que el asfalto realizado fue para una mezcla superficial con tráfico pesado de acuerdo a las TABLA 14 y 15.

**Tabla 32.-** Criterio de comparación

Criterios de Método Marshall	Especificaciones		Resultado			
	Tráfico pesado		Tráfico pesado			
Criterio de mezcla	Min	Máx.	Asfalto Tradicional	Asfalto modificado con 15%	Asfalto modificado con 20%	Asfalto modificado con 25%
<b>Número de golpes en cada probeta</b>	75		75	75	75	75
<b>Estabilidad en libras</b>	1800	---	1650	4240	4000	3655
<b>Flujo en centésimas de pulgadas</b>	8	14	11	14	10	16
<b>Porcentaje de vacíos</b>	3	5	4,00	4,00	3,20	1,50
<b>Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto</b>	65	75	65	69	79	90
<b>Porcentaje de vacíos en agregados minerales</b>	Según la tabla para granulometría de No. 1.5 el V.M.A. el máximo es de 11%		11,20	10,00	12,40	12,00

FUENTE: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002.

Tabla 405.5.1

En la tabla anterior se identifica que los parámetros establecidos para la franja de  $\frac{3}{4}$ , el asfalto tradicional y el asfalto modificado con la adición de 15% de partículas

plásticas, de acuerdo a la MOP 2002 en el capítulo 400 sección 405-5 sobre hormigón asfáltico mezclado en planta; dado que los resultados están dentro del margen establecido dando cumplimiento a los parámetros de la norma.

Concluyendo que el porcentaje óptimo de fabricación de asfalto es con el 6,5% de bitumen, indicando la eficiencia de la mezcla asfáltica tradicional y la modificada con el 15%. Además, que los agregados pétreos de la Constructora Alvarado se encuentran adecuados para la construcción de capas de rodadura constituido por agregados pétreos en material asfáltico mezclados en caliente bajo la Norma INEN 696.

A fin de controlar la calidad de la construcción de los ensayos correspondientes por las normas AASTHO T245, ASTM D 1595 y AASTHO T225 que los valores de estabilidad y flujo están dentro de los rangos establecidos en la MOP 2002.

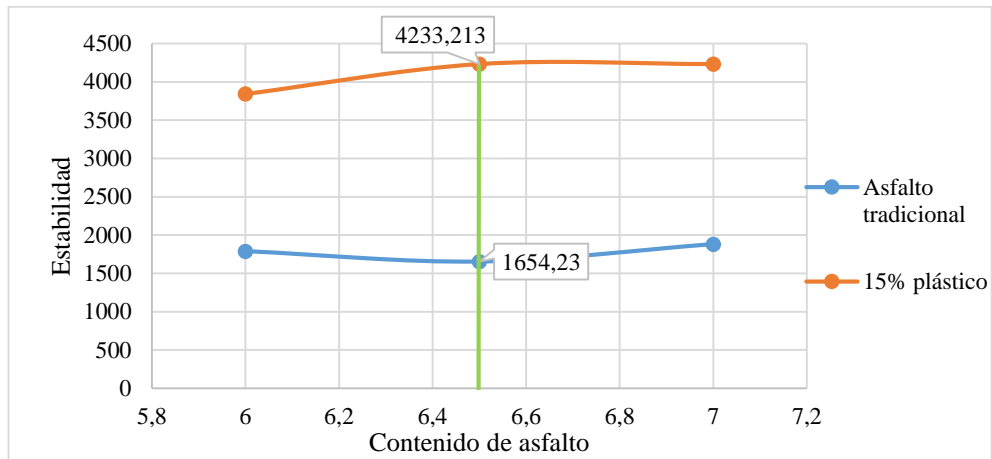
### **3.2.2. Interpretación de los resultados**

Los presentes resultados expresan por el ensayo Marshall la mezcla asfáltica tradicional y la mezcla asfáltica modificada de partículas de plásticos, presenta una relación óptima de fabricación con una adición de 15%. Puesto que los valores de criterios de Marshall comparados con los valores obtenidos están dentro del rango establecido para una mezcla superficial de tráfico pesado en la zona centro del Ecuador.

Dado que así se controla la calidad de la construcción de densidad máxima y humedad óptima corroborada en la norma AASHTO T245 se identifica que su valor no excede a 95% de densidad máxima encontrándose en el rango establecido. Resultando en una mezcla definida con el 60% de agregados gruesos, 30% de agregados finos y 10% de fondo.



**Figura 26.-** Comparación de resultados de estabilidad

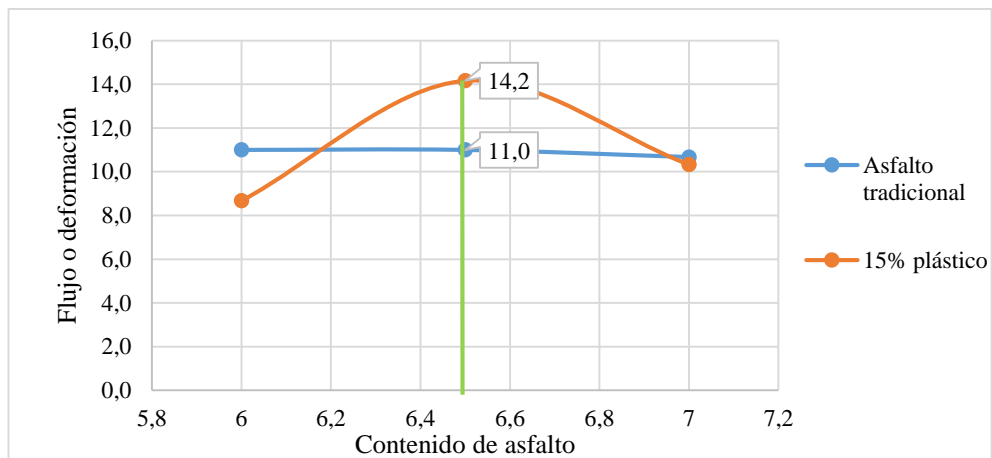


FUENTE: Vargas, A. (2022)

**Interpretación:**

De acuerdo a los valores de estabilidad resultante de 6,5% de cemento asfáltico a la mezcla tradicional de 1654,23 lb, en cuanto al valor de la mezcla modificada con el 15% partículas de plástico es de 4240 lb identificando que a mayor estabilidad se presenta una mayor rigidez.

**Figura 27.-** Comparación de resultados de flujo o deformación



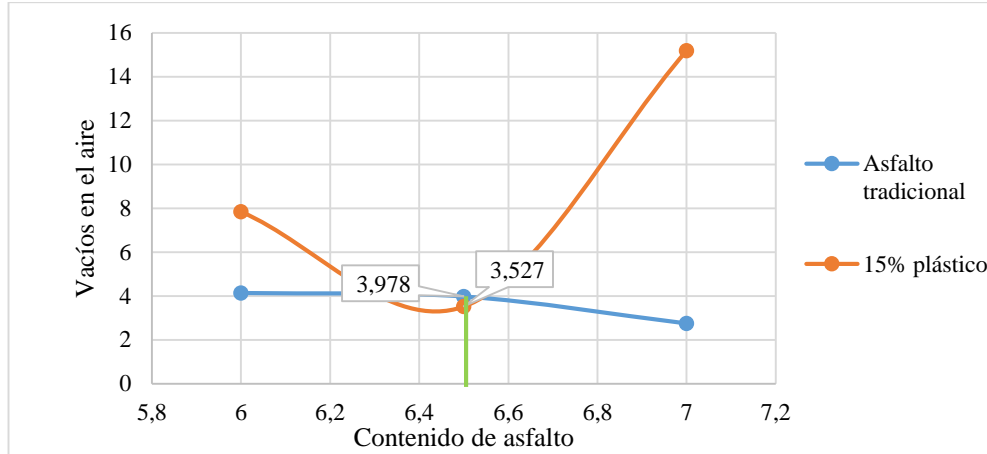
FUENTE: Vargas, A. (2022)

**Interpretación:**

Los valores en cuanto al flujo o deformación expresan que la mezcla tradicional y la mezcla modificada con el 15% se encuentran en los valores establecidos por los criterios de Marshall entre 8 a 14, lo que indica que a mayor flujo menor fragilidad.

Lo contrario de las mezclas asfálticas modificadas de 20% y 25% menor flujo mayor fragilidad.

**Figura 28.-** Comparación de resultados de vacíos con aire



**FUENTE:** Vargas, A. (2022)

### Interpretación:

En el grafico anterior el índice de vacíos con aire presenta que la mezcla asfáltica tradicional, la mezcla modificada con 15% y 20% partículas de plástico están dentro de los parámetros del diseño de Marshall de 3 a 5, lo contrario ocurre en la mezcla modificada con 25% de partículas de plástico muy bajas.

### 3.3. Verificación de hipótesis

Al haber evaluado el efecto de las partículas de plástico reciclado se evidencia que si influye en las propiedades físico-mecánicas del pavimento dado que la adición de plástico mejora el flujo y disminuye la fragilidad del asfalto, elimina parcialmente el índice de vacíos con aire puesto que la compactación extra que presenta el bitumen, los agregados pétreos y el plástico resulta una mezcla resistente al tráfico pesado. Además de poseer una estabilidad alta con una rigidez excesiva expresado a pavimentos rígidos.

## CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- La mezcla asfáltica tradicional óptima, mediante el Método Marshall fue con el 6,5% de bitumen, definida con el 60% de agregado grueso, 30% de agregado fino y 10% de fondo.
- Por medio del Método Marshall se determinó que el porcentaje óptimo de adición de plástico reciclado es del 15%, mezclado con materiales procedentes de la planta asfáltica de la Constructora Alvarado CÍA LTDA, resultando para el peso específico el 2,235 g/cm<sup>3</sup>, estabilidad de 4220 lb, índice de vacíos en aire con el 4%, porcentaje de vacíos del agregado mineral de 11%, flujo o deformación de 14 pulgadas y porcentaje de vacíos llenos de asfalto de 69% datos que se encuentran dentro de los parámetros para tráfico pesado basado en la MOP 2002.
- Con el porcentaje óptimo de adición de partículas de plástico con el 15% determinado por el método Marshall, permite obtener una estabilidad más alta, dado que el plástico compacta los agregados pétreos más firmemente en la mezcla con el bitumen a una temperatura de 140°C, eliminando el índice de vacíos que presenta la mezcla asfáltica tradicional.
- De los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio de las briquetas entre el asfalto tradicional vs asfalto modificado, basado en los resultados del Método Marshall para el diseño de mezclas bituminosas asfáltica con las normas AASHTO T 245, ASTM D 1559, AASHTO T 225. Indica que el asfalto tradicional cumple con varios parámetros de tráfico pesado y el asfalto modificado con 15% cumple con todos los parámetros establecidos por la MOP 2002.

### 4.2. Recomendaciones

- Es recomendable priorizar este tipo de adición a la mezcla tradicional a fin de proporcionar ventajas de mejoramiento del pavimento de tráfico pesado dado que

es el pavimento que más mantenimiento requiere y la realización dificulta su tráfico.

- Se debe realizar ensayos de adherencia de los agregados pétreos conjunto con el bitumen y porcentaje de plástico a fin de identificar si existe o no impedimento alguno sobre la combinación a realizarse con el que se logre su mayor resistencia.
- Se recomienda realizar dosificaciones en las que se reduzca las dimensiones de las partículas de plástico con las cuales se determine la combinación de elementos optima con el que proporciones las mejores características físico-mecánicas del pavimento.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Campagnoli, X. Sánchez y S. Sbogal, PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS, G. p. p. l. e. y. diseño, Ed., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2016.
- [2] O. S. J. Hernández, Mecánica de suelos, Quetzaltenango: División de Ciencias de la Ingeniería, 2021.
- [3] D. Centeno, «La infraestructura vial y su influencia en la calidad de vida de los moradores de las colonias Nueva Esperanza y Libertad, pertenecientes al cantón Santa Clara del la provincia de Pastaza,» Pastaza, 2014.
- [4] R. T. Ramos, «Vías, carreteras y otras calzadas: Breve historia de las mismas,» *Cimbra, Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas*, vol. 376, nº iv, pp. 16-25, 2016.
- [5] Aizaga V. Manuel, La vialidad y su importancia para el desarrollo y la seguridad nacional., 1988.
- [6] V. D. F. Contreras y P. J. M. Zúñiga, «Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas,» Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú, 2020.
- [7] C. E. Calderón, «Evaluación del desempeño del hormigón asfáltico con plástico polietileno reciclado para vías de segundo orden,» Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [8] I. J. C. Aimacaña, «Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador, 2017.
- [9] A. G. M. Carrero y B. M. P. Ramirez, «Efecto de la adición del PET en la resistencia CBR de la subrasante con fines de mejoramiento para pavimentación en la Prolongación Jr. Manuel del Águila Cdra,» Moyobamba, 2020.
- [10] W. Zecenarro, "Manual de carreteras conservación vial", M. d. T. y. Comunicación, Ed., Perú, 2013, p. 1243.
- [11] M. S. R. Cevallos, «Modelo de Rehabilitación Vial que permita desarrollar un Plan que mejore las Condiciones de la Estructura de la Capa de Rodadura para

- Vías Interparroquiales del Cantón Guano de la Provincia de Chimborazo”,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2011.
- [12] L. S. A. Vargas, «Cálculo del índice de condición del pavimento flexible (PCI) en un tramo de la avenida américa oeste de la ciudad de Trujillo,» Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, 2021.
- [13] M. D. E. González, «Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito,» Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile, 2018.
- [14] V. P. R. Logroño, «Análisis de la aplicación del impuesto redimible a las botellas plásticas no retornables como un instrumento para reducir la contaminación ambiental en Ecuador. Periodo 2012 – 2016.,» Quito, 2018.
- [15] AASHTO. LRFD, «Bridge Design Specification,» American Association of State Highway And Transportation Officials, Washington, DC, 2014.
- [16] V. J. S. López, «El diseño de pavimentos flexibles, su comportamiento estructural, e incidencia en el deterioro temprano de la red vial en la provincia de Tungurahua,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.
- [17] P. M. E. Maila, «Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA),» Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador, 2017.
- [18] J. Cárdenas, Carreteras de diseño geométrico de carreteras, Bogotá: ECOE EDICIONES, 2013, pp. 1-5.
- [19] M. D. A. Ruiz, «Aplicación de metodología de evaluación PCI a pavimento flexible en la localidad de Engativá.,» Especialista en Ingeniería de Pavimentos, 2019.
- [20] O. J. E. Freire, «Determinación del índice de condición del pavimento en la Av. Circunvalación sur entre primera este y Nueve de Mayo.,» Universidad Técnica de Machala, Machala, 2020.
- [21] M. G. López, Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado., Valencia - España: Tecnología de sistemas de transportes, 2020.
- [22] J. Agudelo, «“Diseño Geométrico de Vías Ajustado al Manual Colombiano,”»,» Textos Univ, 2002.

- [23] R. R. Vila y B. J. G. Jaramillo, «Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto,» *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 15, n° 2, pp. 17-91, 2018.
- [24] Z. J. J. G. Bolaños, «Reciclado de plástico PET,» 2019.
- [25] Pública-DGIP, Dirección General de Inversión, «Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en carretera,» 2015.
- [26] J. S. Cañas, «ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO,» *Departamento de Mecánica Estructural*, vol. 4, n° 1, pp. 1-15, 2000.
- [27] L. Pérez, «Mecánica de suelos elemental,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2010.
- [28] Dirección General de Servicios Técnicos, GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERA EN MÉXICO, México: 03240 Méxi., 2014.
- [29] INEC, «Transporte,» Ecuador en cifras, Quito, 2019.
- [30] N. I. 696:2011, «Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2011.
- [31] N. I. 856:2010, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.
- [32] N. I. 857:2010, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.
- [33] N. I. 860:2011, «Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2011.
- [34] S. R. Hernandez, C. C. Fernandez y L. P. Baptista, «METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN,» MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., MEXICO, 2014.

- [35] Asamblea Constituyente, «Ley orgánica de transporte terrestre tránsito y seguridad vial,» Lexis, Quito, 2011.
- [36] J. R. Quintero González y . L. . E. Quintero González, «El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano,» Revista Ingeniería y Región., Tunja, Colombia, 2015.
- [37] A. W. Cueva y R. L. Á. Quispe, «Diseño de mezcla asfáltica en caliente incorporando Pet en la calle las Amapolas de la Asoc. Nueva Primavera, Santa Clara-2019,» Lima - Perú, 2019.
- [38] J. C. Golondrino y C. C. Cordero, «Efectos de la adición de Poliestireno Efectos de la adición de poliestireno mortero con dosificación cemento arena 1:3.,» *Revista Digital del Cedex*, vol. 189, pp. 63-83, 2018.
- [39] Norma para estudio y diseños viales, *Ministerio de Transportes y Obras Públicas*, Quito, 2013.
- [40] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, «“Obras de infraestructura 2019 son expuestas ante los representantes de las cámaras y sector productivo.”,» 07-Oct-2019.
- [41] L. Moreno et al., "MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS."
- [42] L. Vásquez, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad De Ingenierías, Programa de Ingeniería Civil, 2006.
- [43] M. Suárez y C. Valencia, «Estudio y Diseño de la Vía El Salado Manantial de Guangala del cantón Santa Elena.,» *Artists*, 2015.
- [44] C. Sangay, H. V. Pereda y S. Huamán, Índice de Condición de Pavimento de la carretera Cajamarca, La Colpa Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2014.
- [45] S. A. O. Manotoa, «Estudio de la correlación entre los ensayos (DCP) penetrómetro dinámico de cono y (CBR) relación de soporte de california en los diferentes tipos de suelos,» Universidad Técnica de Ambato., Ambato-Ecuador, 2016.



[46] A. Vivanco Mendieta, «Análisis del riesgo de accidentes de tránsito relacionados al trabajo y sus factores determinantes en trabajadores del sector comercial.,» *Red Vial*, vol. 24, n° 6, pp. 14-25, 2018.

## ANEXOS

### ANEXO A. MÉTODO MARSHALL

#### Anexo A.1 Diseño Asfáltico

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS PARA DISEÑO (Gagr)						PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (Gasf):													
MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPOSOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	Método RICE	$\frac{(I - H) \times 10^4}{I \times H \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times G}{Gagr}$	$(1 - \frac{G}{I}) \times 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{\%CA}{J \times \%Agreg} - \frac{100}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$			$Q \times R$	
T1.1.1	6.0																		
T1.2.1	6.0																		
T1.3.1	6.0																		
Promedio	-																		
T1.2.1	6.5																		
T1.2.2	6.5																		
T1.2.3	6.5																		
Promedio	-																		
T1.3.1	7.0																		
T1.3.2	7.0																		
T1.3.3	7.0																		
Promedio	-																		
T2.2.1	6.0																		
T2.2.2	6.0																		
T2.3.2	6.0																		
Promedio	-																		
T2.1.1	6.5																		
T2.2.1	6.5																		
T2.3.1	6.5																		
Promedio	-																		
T2.3.1	7.0																		

T2.3.2	7.0																		
T2.3.3	7.0																		
Promedio	-																		
T3.1.1	6.0																		
T3.1.2	6.0																		
T3.1.3	6.0																		
Promedio	-																		
T3.2.1	6.5																		
T3.2.2	6.5																		
T3.2.3	6.5																		
Promedio	-																		
T3.2.1	7.0																		
T3.2.2	7.0																		
T3.2.3	7.0																		
Promedio	-																		
T4.1.1	6.0																		
T4.1.2	6.0																		
T4.1.3	6.0																		
Promedio	-																		
T4.2.1	6.5																		
T4.2.2	6.5																		
T4.2.3	6.5																		
Promedio	-																		
T4.2.1	7.0																		
T4.2.2	7.0																		
T4.2.3	7.0																		
Promedio	-																		

## ANEXO B. BRIQUETAS ASFÁLTICAS

### Anexo B.1 Material pétreo



Constructora Alvarado CÍA LTDA



Agregados Pétreos

### Anexo B.2 Elaboración de Briquetas



Pedestal vibratorio



Calentamiento de moldes



Plástico reciclado



Pesado de agregados pétreos



Calentamiento de agregados y bitumen



Mezcla de calentamiento de agregados



Pesado de bitumen



Mezcla de agregados con el bitumen



Homogenización



Mezcla de agregados pétreos



Colocado en el pedestal



Compactación de la mezcla



Adición de partículas de plástico



Colocación de la mezcla

## ANEXO C. ENSAYOS DE LABORATORIO

### Anexo C.1 Oficio de prestación de laboratorio Ilustre Municipalidad de Ambato

  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD CIVIL Y MECÁNICA

Ambato, 7 de junio del 2022

Ingeniero,  
Klever Padrón  
Director de Obras Públicas  
Ilustre Municipalidad del Cantón Ambato



Presente.

De mi consideración:

Yo, **Vargas Guevara Alex Javier**, con cedula de ciudadanía **C.I. 1805192083**, estudiante del ciclo académico Abril 2022 - Agosto 2022, de la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, solicitó de la manera más comedida me permita realizar el método Marshall para muestras de pavimento flexible a fin de culminar mi trabajo estudiantil del semestre en el laboratorio de Suelos del Municipio.

Por la favorable atención que digno dar a la presente, le agradezco de antemano y me suscribo de usted.

Atentamente

  
Vargas Guevara Alex Javier  
C.I. 1805192083  
0987021777  
avargas2083@uta.edu.ec



Anexo C.2 Ensayo de estabilidad



Briquetas tradicionales



Peso de la briqueta en aire



Recipiente de baño maría



Cálculo Marshall



Anexo C.3 Ensayo de máquina de vacíos



Muestra disgregada



Máquina de vacíos



Briquetas asfálticas



Ensayo Marshall

## ANEXO D. RESULTADOS

### Anexo D.1 Resultado del Método RICE (Tradicional con 6%)



GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO  
**MUNICIPALIDAD DE AMBATO**  
DEPARTAMENTO DE OBRAS PUBLICAS

PROYECTO: EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO

SOLICITA: Sr. Alex Vargas

SECTOR: Ambato

FECHA : 09-06-2022

Muestra: carpeta

INF. # 2350-LAB-OPM-2022

#### Determinación Rice Gmm

D Peso frasco+agua a 25°C	7150,1
Peso frasco	3041,5
Peso muestra + frasco	4111,2
A Peso muestra	1069,7
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	7753,2
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,293</b>

Ing. Oswaldo Manotoa  
SERVIDOR PUBLICO 4

Costo ensayo \$ 30,16

## Anexo D. 2 Resultado del Método RICE (Tradicional con 6,5%)



GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO  
**MUNICIPALIDAD DE AMBATO**  
DEPARTAMENTO DE OBRAS PUBLICAS

PROYECTO: EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO  
SOLICITA: Sr. Alex Vargas  
SECTOR: Ambato  
FECHA : 09-06-2022

Muestra: carpeta  
INF. # 2350-LAB-OPM-2022

### Determinación Rice Gmm

D Peso frasco+agua a 25°C	7150,1
Peso frasco	3041,5
Peso muestra + frasco	4066,8
A Peso muestra	1025,3
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	7753,2
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,428</b>

Ing. Oswaldo Manotoa  
SERVIDOR PUBLICO 4

Costo ensayo \$ 30,16

## Anexo D. 3 Resultado del Método RICE (Tradicional con 7%)



GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO  
**MUNICIPALIDAD DE AMBATO**  
DEPARTAMENTO DE OBRAS PUBLICAS

PROYECTO: EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO  
SOLICITA: Sr. Alex Vargas  
SECTOR: Ambato  
FECHA : 09-06-2022

Muestra: carpeta  
INF. # 2350-LAB-OPM-2022

### Determinación Rice Gmm

D Peso frasco+agua a 25°C	7150,1
Peso frasco	3041,5
Peso muestra + frasco	4098,9
A Peso muestra	1057,4
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	7753,2
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,328</b>

Ing. Oswaldo Manotoa  
SERVIDOR PUBLICO 4

Costo ensayo \$ 30,16

## Anexo D. 4 Método de abrasión de la cantera



GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO  
**MUNICIPALIDAD DE AMBATO**  
LABORATORIO DE SUELOS  
ENSAYO DE ABRASION (NORMA INEN 860)

PROYECTO: EFECTO DE ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE PAVIMENTO  
SOLICITA: Sr. Alex Vargas  
SECTOR: Ambato  
FECHA : 09-06-2022  
Muestra: carpeta  
INF. # 2350-LAB-OPM-2022

Muestra: Material granular tamaño 4,75 mm.	1	2
Peso muestra antes del ensayo	5000	5000
Peso muestra después del ensayo ret # 12	3215,2	3221,2
Peso muestra pasa # 12	1784,8	1778,8
% desgaste	35,70	35,576
Promedio	35,6	

Observación: Maximo desgaste permitido para base 40 %, cumple especificación.

Ing. Oswaldo Manotoa  
SERVIDOR PUBLICO 4

Costo \$ 30,38