



**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:**

---

**“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE  
TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN  
FRÍO”**

---

**AUTOR:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**TUTOR:** Ing. MSc. Favio Paúl Portilla Yandún

**AMBATO - ECUADOR**  
**Enero - 2023**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO”**, elaborado por el Sr. Shumacher Duvalier Gavilanes Loor, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1721185799, 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.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2023



---

Ing. MSc. Favio Paúl Portilla Yandún

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Shumacher Duvalier Gavilanes Loor** con C.I.1721185799, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema “**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO**”, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2023



---

**Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

**C.I. 1721185799**

**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, enero 2023



---

**Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

**C.I. 1721185799**

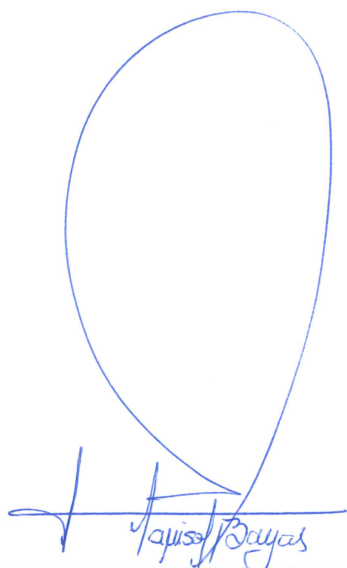
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Shumacher Duvalier Gavilanes Loor de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO”**.

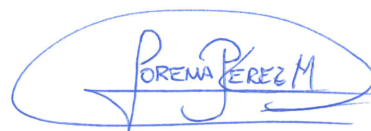
Ambato, enero 2023

Para constancia firman:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, vertically oriented oval shape above a horizontal line with some scribbles underneath.

---

**Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano Mg.  
MIEMBRO CALIFICADOR**

A handwritten signature in blue ink, featuring the name 'LORENA PEREZ M' written in a stylized, cursive font within an oval shape.

---

**Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado Mg.  
MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo experimental está dedicado a mi padre Edwin Gavilanes, quien ha sido mi ejemplo a seguir, mi inspiración y quien me guiado para alcanzar cada uno mis objetivos y metas propuestos.

A mi madre Nelly Loor, por siempre, brindarme su apoyo y amor incondicional en todo circunstancia, una mujer luchadora y digna de admirar.

A mis hermanas Gema y Shakira, por apoyarme siempre en cada momento. Por ser inseparables y dar esa voz de tranquilidad en momentos difíciles.

A mi pareja y a mis mejores amigos, quienes me ayudaron y que me han acompañado en el trascurso de mi carrera.

*Shumacher*

## AGRADECIMIENTO

A mis padres por su apoyo constante y su dedicación en hacer de mí una persona de bien.

A mis hermanas por la ayuda que me brindaron para la realización de este proyecto, cuenten siempre conmigo.

A mi pareja por toda la ayuda prestada a lo largo de mi vida universitaria, siempre estaré para ti.

A todas las personas que forman parte de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a los docentes por los conocimientos impartidos en las aulas de clase, de manera especial al Ing. MSc. Favio Portilla por su compromiso y ayuda en el desarrollo del presente proyecto.

A mis compañeros y amigos por todo el apoyo y esos buenos momentos que hemos vivido juntos en estos años de carrera universitaria, gracias por todas esas palabras de aliento para seguir luchando hasta alcanzar esta meta.

*Shumacher*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO I	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación	2
1.1.3. Fundamentación Teórica	3
1.1.3.1. Agregados pétreos	3
1.1.3.2. Asfalto	4
1.1.3.3. Mezclas Asfálticas	4
1.1.3.4. Mezclas asfálticas en frío	4
1.1.3.4.1. Requisitos para el diseño de Mezclas Asfálticas en Frío	5
1.1.3.4.2. Desventaja mezclas asfálticas en frío	6
1.1.3.4.3. Ventajas mezclas asfálticas en frío	6
1.1.3.5. Mezclas asfálticas en caliente	7
1.1.3.6. Mezclas asfálticas modificadas	7
1.1.3.7. Emulsión asfáltica	7
1.1.3.8. Polímero	8
1.1.3.9. Tereftalato de Polietileno (PET)	9



1.1.3.10.	Propiedades físicas de las mezclas asfálticas	12
1.1.3.10.1.	Estabilidad	12
1.1.3.10.2.	Durabilidad	12
1.1.3.10.3.	Permeabilidad	12
1.1.3.10.4.	Trabajabilidad	12
1.1.3.10.5.	Flexibilidad	12
1.1.3.10.6.	Resistencia a la fatiga	13
1.1.3.10.7.	Resistencia a la fractura mientto por baja temperatura	13
1.1.3.10.8.	Resistencia al deslizamiento	13
1.1.3.11.	Ensayo Marshall	13
1.1.3.11.1.	Propiedades del ensayo Marshall	14
1.1.3.12.	Ensayos de laboratorio	19
1.1.3.12.1.	Granulometría	19
1.1.3.12.2.	Límite líquido	19
1.1.3.12.3.	Límite plástico	19
1.1.3.12.4.	Densidad de los agregados	19
1.1.3.12.5.	Abrasión	20
1.1.3.12.6.	Método Rice	20
1.1.3.12.7.	Gravedad específica seca “BULK” de los agregados	21
1.1.3.12.8.	Gravedad específica seca aparente de los agregados	21
1.1.3.12.9.	Gravedad específica saturada con superficie seca de los agregados o gravedad específica efectiva	22
1.2.	Hipótesis	22
1.3.	Objetivos	23
1.3.1.	Objetivo General	23
1.3.2.	Objetivos Específicos	23
CAPÍTULO II		24
2.	METODOLOGÍA	24
2.1.	Materiales y Equipos	24
2.2.	Métodos	31
2.2.1.	Nivel Exploratorio	31
2.2.2.	Nivel Descriptivo	31
2.2.3.	Nivel Explicativo	31

2.3.	Población y Muestra	32
2.4.	Plan de recolección de datos	32
2.5.	Plan de procesamiento y Análisis de la Información	33
2.5.1.	Plan de procesamiento de la información	33
2.5.2.	Plan de Análisis de la información	33
CAPÍTULO III		35
3.	RESULTADO Y DISCUSIÓN	35
3.1.	Análisis y discusión de resultados	35
3.1.1.	Contenido de Humedad Agregado grueso	35
3.1.2.	Análisis granulométrico	39
3.1.3.	Gravedad específica y absorción del agregado fino.	42
3.1.4.	Gravedad específica y absorción del agregado grueso	45
3.1.5.	Desgaste por abrasión	48
3.1.6.	Dosificación de los agregados de las briquetas	50
3.1.6.1.	Dosificación briquetas sin polímero	50
3.1.6.2.	Dosificación briquetas con 3% de PET (Tereftalato de polietileno)	51
3.1.6.3.	Dosificación briquetas con 6% de PET (Tereftalato de polietileno)	52
3.1.6.4.	Dosificación briquetas con 9% de PET (Tereftalato de polietileno)	53
3.1.6.5.	Dosificación briquetas con 12% de PET (Tereftalato de polietileno)	54
3.1.6.6.	Dosificación briquetas con 15% de PET (Tereftalato de polietileno)	55
3.1.7.	Ensayos Rice	56
3.1.7.1.	Ensayo Rice mezcla asfáltica sin polímero	56
3.1.7.2.	Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3% de PET (Tereftalato de Polietileno)	59
3.1.7.3.	Ensayo Rice mezcla asfáltica con 6% de PET (Tereftalato de Polietileno)	61
3.1.7.4.	Ensayo Rice mezcla asfáltica con 9% de PET (Tereftalato de Polietileno)	64
3.1.7.5.	Ensayo Rice mezcla asfáltica con 12% de PET (Tereftalato de Polietileno)	66

3.1.7.6. Ensayo Rice mezcla asfáltica con 15% de PET (Tereftalato de Polietileno)	69
3.1.8. Ensayo Marshall	72
3.1.8.1. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas sin polímero	72
3.1.8.1.1. Curvas de diseño Marshall mezcla asfáltica convencional	74
3.1.8.1.2. Análisis de los resultados	77
3.1.8.2. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 3% de PET (Tereftalato de Polietileno)	78
3.1.8.2.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 3% PET/PE/PP	79
3.1.8.2.2. Análisis de resultados mezcla asfáltica con 3% de PET/PE/PP	82
3.1.8.3. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 6% de PET (Tereftalato de Polietileno)	83
3.1.8.3.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 6% PET/PE/PP	84
3.1.8.3.2. Análisis de resultados mezcla asfáltica con 6% de PET/PE/PP	87
3.1.8.4. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 9% de PET/PE/PP	88
3.1.8.4.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 9% PET/PE/PP	89
3.1.8.4.2. Análisis de los resultados mezcla asfáltica con 9% de PET/PE/PP	92
3.1.8.5. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 12% de PET/PE/PP	93
3.1.8.5.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 12% PET/PE/PP	94
3.1.8.5.2. Análisis de los resultados mezcla asfáltica con 12% de PET/PE/PP	97
3.1.8.6. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 15% de PET/PE/PP	98
3.1.8.6.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 15% PET/PE/PP	99
3.1.8.6.2. Análisis de los resultados mezcla asfáltica con 15% de PET/PE/PP	102
3.1.9. Análisis de los resultados (Tablas resumen)	103
3.1.9.1. Análisis de resultados Densidad Máxima vs PET/PE/PP	103
3.1.9.2. Análisis de resultados Estabilidad Máxima vs PET/PE/PP	104
3.1.9.3. Análisis resultados Emulsión Óptima vs PET/PE/PP	105
3.1.9.4. Análisis de los resultados porcentaje de vacíos con aire Vs PET/PE/PP	106

3.1.9.5. Análisis de los resultados porcentaje de vacíos llenos de asfalto Vs PET/PE/PP _____	107
3.1.9.6. Análisis de los resultados porcentaje de vacíos agregado mineral Vs PET/PE/PP _____	108
3.1.9.7. Análisis de los resultados Porcentaje de Fljo vs. PET/PE/PP _____	109
3.1.11. Análisis de tráfico _____	111
3.1.11.1. Tipos de Vehículos _____	112
3.1.11.2. Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) _____	113
3.1.11.3. Cálculo de Tráfico Futuro (Tf) _____	114
3.1.11.3.1. Proyección de tráfico futuro _____	114
3.1.11.3.2. Tráfico atraído (Ta) _____	114
3.1.11.3.3. Tráfico Generado (Tg) _____	115
3.1.11.3.4. Tráfico por Desarrollo (Td) _____	116
3.1.11.3.5. Tráfico Actual (Tal) _____	116
3.1.11.3.6. Tráfico Futuro _____	117
3.1.11.4. Factor de Daño (FD) _____	118
3.1.11.5. Ejes Equivalentes _____	119
3.1.11.5.1. Ejes Equivalentes Futuro W18 _____	119
3.1.11.5.2. Factor de distribución por dirección _____	119
3.1.11.5.3. Factor de distribución por carril _____	119
3.1.12. Diseño pavimento flexible según el método AASHTO 93 con mezclas asfálticas sin modificar y modificadas. _____	122
3.1.12.1. Datos iniciales para el diseño del Pavimento _____	122
3.1.12.1.1. Fórmula de Diseño del pavimento según la AASHTO 93 _____	122
3.1.12.1.2. Período de Análisis _____	123
3.1.12.1.3. Ejes Equivalentes _____	123
3.1.12.1.4. Confiabilidad _____	123
3.1.12.1.5. Índice de Serviciabilidad _____	124
3.1.12.1.6. Coeficiente de Drenaje _____	125
3.1.12.1.7. Módulo de resiliencia _____	126
3.1.12.1.8. Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1) _____	127
3.1.12.1.9. Coeficiente estructural de la base granular (a2) _____	131
3.1.12.1.10. Coeficiente estructural de la subbase granular (a3) _____	132

3.1.12.1.11. Número Estructural – Sn _____	133
3.1.12.2. Diseño del pavimento flexible con mezclas asfálticas sin modificar 135	
3.1.12.3. Diseño del pavimento flexible con mezclas asfálticas modificadas 139	
3.1.12.4. Análisis del Diseño del Pavimento _____	142
3.2. Verificación de la Hipótesis _____	143
CAPÍTULO IV _____	144
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	144
4.1. Conclusiones _____	144
4.2. Recomendaciones _____	145
5. Bibliografía _____	147
6. ANEXOS _____	151
Ensayos de laboratorio _____	151
Especificaciones Técnicas de la Emulsión Asfáltica _____	162
Tráfico _____	164
Anexos Marshall _____	168
Anexos Fotográficos _____	177

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de diseño de Mezclas asfálticas en frío _____	6
Tabla 2. Propiedades Físicas Politereftalato de Etileno (PET) _____	11
Tabla 3. Ensayos, Materiales y Equipos necesarios _____	24
Tabla 4. Plan de recolección de datos _____	32
Tabla 5. Contenido de Humedad Agregado 3/4 _____	36
Tabla 6. Contenido de Humedad Agregado 1/2 _____	37
Tabla 7. Contenido de Humedad Agregado Fino _____	38
Tabla 8. Resistencia al desgaste por abrasión Agregado Grueso _____	39
Tabla 9. Requisitos de Graduación granulométrica _____	40
Tabla 10. Análisis Granulométrico de los Agregados _____	41
Tabla 11. Gravedad específica y absorción del agregado fino. _____	44

Tabla 12. Gravedad específica y absorción del agregado grueso ½ _____	46
Tabla 13. Gravedad específica y absorción del agregado grueso ¾ _____	47
Tabla 14. Especificaciones de la Carga _____	48
Tabla 15. Gradación de las muestras de ensayo _____	48
Tabla 16. Desgaste por Abrasión _____	49
Tabla 17. Granulometría mezcla asfáltica en frío sin polímeros _____	50
Tabla 18. Granulometría mezcla asfáltica en frío 3% PET _____	51
Tabla 19. Granulometría mezcla asfáltica en frío 6% PET _____	52
Tabla 20. Granulometría mezcla asfáltica en frío 9% PET _____	53
Tabla 21. Granulometría mezcla asfáltica en frío 12% PET _____	54
Tabla 22. Granulometría mezcla asfáltica en frío 15% PET _____	55
Tabla 23. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica sin PET _____	56
Tabla 24. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica sin PET _____	57
Tabla 25. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica sin PET _____	58
Tabla 26. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica sin PET _____	58
Tabla 27. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 3% PET _____	59
Tabla 28. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 3% PET _____	60
Tabla 29. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 3% PET _____	60
Tabla 30. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 3% PET _____	61
Tabla 31. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 6% PET _____	62
Tabla 32. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 6% PET _____	62
Tabla 33. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 6% PET _____	63
Tabla 34. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 6% PET _____	63
Tabla 35. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 9% PET _____	64
Tabla 36. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 9% PET _____	65
Tabla 37. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 9% PET _____	65
Tabla 38. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 9% PET _____	66
Tabla 39. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 12% PET _____	67
Tabla 40. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 12% PET _____	67
Tabla 41. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 12% PET _____	68
Tabla 42. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 12% PET _____	68
Tabla 43. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 15% PET _____	69
Tabla 44. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 15% PET _____	70

Tabla 45. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 15% PET _____	70
Tabla 46. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 15% PET _____	71
Tabla 47. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas sin polímero _____	73
Tabla 48. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 3% de PET _____	78
Tabla 49. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 6% de PET _____	83
Tabla 50. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 9% de PET/PE/PP _____	88
Tabla 51. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 12% de PET/PE/PP _____	93
Tabla 52. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 15% de PET/PE/PP _____	98
Tabla 53. Resumen ensayo Marshall con los diferentes porcentajes de PET/PE/PP103	
Tabla 54: Presupuesto – Diseño 1 _____	110
Tabla 55: Presupuesto – Diseño 2 _____	110
Tabla 56. Tipos de vehículos de carga pesada _____	112
Tabla 57. Volumen de tránsito durante la hora pico _____	113
Tabla 58. Tráfico Actual _____	117
Tabla 59. Índice de Crecimiento Vehicular _____	117
Tabla 60. Factor de Daño _____	118
Tabla 61. Factor de distribución por carril _____	120
Tabla 62. Ejes Equivalentes _____	121
Tabla 63. Nivel de Confiabilidad _____	124
Tabla 64. Desviación Estándar Normal _____	124
Tabla 65. Desviación Estándar Global _____	124
Tabla 66. Índice de Serviciabilidad _____	125
Tabla 67. Calidad de drenaje _____	126
Tabla 68. Coeficientes de drenaje (m2) y (m3) _____	126
Tabla 69. Espesores mínimos en base al tráfico _____	135
Tabla 70. Parámetros para el Diseño 1 _____	136
Tabla 71. Diseño de Pavimento Flexible 1 - AASHTO 93 _____	138
Tabla 72. Parámetros para el Diseño 2 Pavimento Flexible _____	140
Tabla 73. Diseño de Pavimento Flexible 2 - AASHTO 93 _____	141
Tabla 74. Espesores de las capas del pavimento _____	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bacheo con mezcla asfáltica en frío	5
Figura 2. Puesta en bache mezcla asfáltica en frío compuesta por agregados y un ligante asfáltico	7
Figura 3. Emulsión asfáltica	8
Figura 4. Botellas plásticas	9
Figura 5. Equipo Marshall	14
Figura 6. Briquetas de Hormigón Asfáltico	14
Figura 7. Peso Específico BULK vs Emulsión Asfáltica	15
Figura 8. % de Vacíos vs Emulsión Asfáltica	16
Figura 9. % de Vacíos en agregado mineral vs Emulsión Asfáltica	17
Figura 10. % de Vacíos llenos de asfalto vs Emulsión Asfáltica	17
Figura 11. Estabilidad vs Emulsión Asfáltica	18
Figura 12. Flujo vs Emulsión Asfáltica	18
Figura 13. Máquina extractora de vacíos – Para ensayo rice Rice	20
Figura 14. Gravedad Específica Seca Bulk en agregado grueso	21
Figura 15. Gravedad Específica Seca “BULK” en agregado grueso	21
Figura 16. Ilustración de los parámetros de diseño volumétrico	22
Figura 17. Ensayo Resistencia al desgaste por abrasión	26
Figura 18. Ensayo Granulometría	27
Figura 19. Ensayo Densidad del árido grueso	27
Figura 20. Ensayo Densidad del árido fino	28
Figura 21. Ensayo Límite Líquido	28
Figura 22. Ensayo Límite Plástico	29
Figura 23. Elaboración de Briquetas	29
Figura 24. Ensayo Marshall	30
Figura 25. Ensayo Rice	30
Figura 26. Picnómetro con agua y termómetro	43
Figura 27. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto	74
Figura 28. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto	74
Figura 29. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto	75
Figura 30. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto	75



Figura 31. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto	___ 76
Figura 32. Flujo vs. Porcentaje de asfalto	_____ 76
Figura 33. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto	_____ 79
Figura 34. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto	_____ 79
Figura 35. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto	_____ 80
Figura 36. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto	_____ 80
Figura 37. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto	___ 81
Figura 38. Flujo vs. Porcentaje de asfalto	_____ 81
Figura 39. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto	_____ 84
Figura 40. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto	_____ 84
Figura 41. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto	_____ 85
Figura 42. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto	_____ 85
Figura 43. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto	___ 86
Figura 44. Flujo vs. Porcentaje de asfalto	_____ 86
Figura 45. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto	_____ 89
Figura 46. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto	_____ 89
Figura 47. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto	_____ 90
Figura 48. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto	_____ 90
Figura 49. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto	___ 91
Figura 50. Flujo vs. Porcentaje de asfalto	_____ 91
Figura 51. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto	_____ 94
Figura 52. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto	_____ 94
Figura 53. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto	_____ 95
Figura 54. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto	_____ 95
Figura 55. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto	___ 96
Figura 56. Flujo vs. Porcentaje de asfalto	_____ 96
Figura 57. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto	_____ 99
Figura 58. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto	_____ 99
Figura 59. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto	_____ 100
Figura 60. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto	_____ 100
Figura 61. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto	___ 101
Figura 62. Flujo vs. Porcentaje de asfalto	_____ 101
Figura 63. Densidad Máxima vs. PET/PE/PP	_____ 103

Figura 64. Estabilidad Máxima vs. PET/PE/PP _____	104
Figura 65. Emulsión Óptima vs. PET/PE/PP _____	105
Figura 66. Porcentaje de Vacíos con Aire vs. PET/PE/PP _____	106
Figura 67. Porcentaje de Vacíos llenos de Asfalto vs PET/PE/PP _____	107
Figura 68. Vacíos Agregado Mineral vs PET/PE/PP _____	108
Figura 69. Flujo vs. PET/PE/PP _____	109
Figura 70. Coeficientes estructurales para la carpeta asfáltica relacionada con varios ensayos para mezcla asfáltica sin modificar _____	128
Figura 71 Correlación entre el Coeficiente Estructural de Capa (a1) vs Módulo Elástico del concreto asfáltico (a 68 Fº) _____	129
Figura 72. Coeficientes estructurales para la carpeta asfáltica relacionada con varios ensayos para mezcla asfáltica modificada _____	130
Figura 73 Correlación entre el Coeficiente Estructural de Capa (a1) vs Módulo Elástico del concreto asfáltico (a 68 Fº) _____	131
Figura 74. Coeficiente estructural para la base relacionada con varios ensayos __	132
Figura 75. Coeficiente estructural para la subbase granular relacionada con distintos parámetros resistentes _____	133
Figura 76. Estructura del pavimento flexible _____	134
Figura 77. Diseño de Pavimento 1 y 2, programa AASHTO-93 _____	137
Figura 78. Diseño de Pavimento Flexible 1 _____	139
Figura 79. Diseño de Pavimento Flexible 2 _____	142

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ensayo granulométrico del Agregado fino _____	152
Anexo 2. Límite Líquido Agregado Fino _____	153
Anexo 3. Límite Plástico Agregado Fino _____	154
Anexo 4. Contenido de Humedad Agregado Fino _____	155
Anexo 5. Contenido de Humedad Agregado 1/2" _____	156
Anexo 6. Contenido de Humedad Agregado 3/4" _____	157
Anexo 7. Gravedad Específica Agregado Fino _____	158
Anexo 8. Gravedad Específica Agregado 1/2" _____	159

Anexo 9. Gravedad Específica Agregado 3/4" _____	160
Anexo 10. Ensayo de Abrasión _____	161
Anexo 11. Ficha técnica Emulsión Asfáltica _____	163
Anexo 12. Conteo de tráfico ambos sentidos _____	165
Anexo 13. Conteo de tráfico ambos sentido Norte - Sur _____	166
Anexo 14. Conteo de tráfico ambos sentido Sur - Norte _____	167
Anexo 15. Factores de corrección de la estabilidad _____	169
Anexo 16 APU, Capa de Rodadura _____	173
Anexo 17: APU, Base Clase II _____	174
Anexo 18: APU, Subbase Clase III _____	175
Anexo 19: APU, PET/PP/PE _____	176
Anexo 20. Ensayo Resistencia al desgaste por abrasión _____	178
Anexo 21. Ensayo Granulometría _____	178
Anexo 22. Ensayo Densidad del árido grueso _____	179
Anexo 23. Ensayo Densidad del árido fino _____	179
Anexo 24. Ensayo Límite Líquido _____	180
Anexo 25. Ensayo Límite Plástico _____	180
Anexo 26. Elaboración de Briquetas _____	181
Anexo 27. Ensayo Marshall _____	181
Anexo 28. Ensayo Rice _____	182
Anexo 29. Toma de pesos briquetas _____	182
Anexo 30. Ensayo marshal _____	183
Anexo 31. Peso canastillas para densidad BULK _____	183
Anexo 32. Compactador de briquetas asfálticas _____	184
Anexo 33. Briquetas de hormigón asfáltico _____	184
Anexo 34. Briquetas inmersas en baño maria _____	185

## RESUMEN

Debido a un aumento a la contaminación ambiental en lo que se refiere a la utilización de plástico, se procede a realizar esta investigación donde se incorporó plástico reciclado a una mezcla asfáltica en frío con el fin de identificar el comportamiento mecánico del mismo.

Esta investigación se basó en incorporar plástico reciclado en una mezcla asfáltica en frío utilizando agregados pétreos del cantón Ambato y comparar sus propiedades mecánicas con una mezcla asfáltica tradicional.

Se estudió el comportamiento de una mezcla asfáltica modificándolo progresivamente con la adición de los siguientes porcentajes de PET de 3, 6, 9, 12, 15 por ciento en peso; para ello se utilizó la norma ASTM D 1559 y AASHTO T 225; se fabricaron 100 muestras, de las cuales 20 correspondieron a mezclas asfálticas convencional y 80 a mezclas con distintos porcentajes de (PET/PE/PP).

Finalmente se estableció el porcentaje máximo y óptimo de polímeros reciclados que se añadió a las mezclas asfálticas de modo que cumpla y mejoren con los requerimientos de diseño según la normativa, se determinó que en mezclas asfálticas en frío no mejora la calidad del pavimento en alto tráfico, pero para medio y liviano presento características flexibles y duraderas, es así que se obtuvo un porcentaje óptimo de adición de polímero para el diseño de pavimentos flexibles y este pueda ser utilizado en vías del país.

**PALABRAS CLAVE:** Mezcla asfáltica, Asfalto-frío, Polietileno tereftalato, PET-PE-PP, Asfalto modificado, Pavimentos.

## ABSTRACT

Due to an increase in environmental pollution regarding the use of plastic, we proceeded to conduct this research where recycled plastic was incorporated into a cold asphalt mixture in order to identify its mechanical behavior.

This research was based on incorporating recycled plastic into a cold asphalt mix using stone aggregates from the Ambato canton and comparing its mechanical properties with a traditional asphalt mix.

The behavior of an asphalt mixture was studied by progressively modifying it with the addition of the following percentages of PET of 3, 6, 9, 12, 15 percent by weight; ASTM D 1559 and AASHTO T 225 were used for this purpose; 100 samples were made, of which 20 corresponded to conventional asphalt mixtures and 80 to mixtures with different percentages of (PET/PE/PP).

Finally, the maximum and optimum percentage of recycled polymers to be added to the asphalt mixes was established in order to meet and improve the design requirements according to the regulations. It was determined that in cold asphalt mixes the quality of the pavement does not improve in high traffic, but for medium and light traffic it presents flexible and durable characteristics, thus obtaining an optimum percentage of polymer addition for the design of flexible pavements that can be used in the country's roads.

**KEY WORDS:** Cold mix asphalt, asphalt-cold, PET-PE-PP, modified asphalt, pavements, recycled plastic.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1. Antecedentes

En la actualidad los asfaltos convencionales que se utilizan para acometer las obras de infraestructura vial presentan calidades y propiedades que son insuficientes o no alcanzan a satisfacer las necesidades y requerimientos de las demandas de tráfico vehicular. [1]

En virtud de lo cual se investigan alternativas de solución desde la modificación de los asfaltos incorporando materiales de distinta naturaleza, desde caucho, pasando por la adición de fibras de vidrio y acero, hasta desperdicios plásticos. [2]

En Nigeria, un estudio realizado en dicho país se reemplazó el contenido óptimo de bitumen por 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14% y 16% de PET reciclado de botellas de agua y sometió a ensayo Marshall las muestras obtenidas con estos porcentajes. Con ello se presentó una disminución en la estabilidad del 20.4% de la mezcla modificada con PET en comparación con la muestra asfáltica de referencia. Con los resultados obtenidos se afirmó que el flujo disminuye con excepción de las muestras con 14% y 16% de PET lo cual indica que la adición de PET reciclado puede mejorar la resistencia a la deformación permanente del asfalto, aunque también es posible que haya una reducción en la resistencia a la fatiga. [3]

En Colombia también se han realizado estudios sobre pavimentos modificados con polímeros diferentes al PET. Se utilizó el desecho de PVC. como material de adición en diferentes porcentajes con el fin de modificar el comportamiento de una subbase granular y compararlo con el comportamiento de un material natural a partir de los resultados de ensayos de Proctor y CBR. Dichos resultados muestran que el CBR de una mezcla de material granular, tipo subbase, y material de desecho, puede presentar

un incremento de hasta 85% con respecto al CBR del material natural. Adicionalmente, la mezcla modificada logró disminuir el peso unitario del material, de manera tal que se obtuvo una mezcla con mayor resistencia y menor peso. [4]

El uso de PET en el Ecuador, gracias a un estudio realizado por el Ing. Patricio Romero Flores, se utilizó material proveniente del reciclaje de botellas, como material constitutivo adicional de mezclas asfálticas en caliente y se comparó con una mezcla asfáltica convencional con base en los resultados de la medición del peso unitario, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo de cada grupo de mezclas. Se determinó el porcentaje óptimo de asfalto obtenido a partir de los ensayos Marshall, la adición del PET en base a las formas de las fibras y una serie de muestreo. Comprobando así la mejor forma de adicionar el PET a la mezcla asfáltica, debido a que presentó una estabilidad y flujo mayor a los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica convencional. [5]

### **1.1.2. Justificación**

Uno de los problemas en el sector transporte en las ciudades del Ecuador, es el pésimo estado en que se encuentran los pavimentos en distintas vías del país, esto debido al alto tránsito vehicular y las condiciones climáticas, ya que en los últimos años se ha incrementado el parque automotor de manera exponencial, generando el deterioro de los pavimentos y como consecuencia al realizar las operaciones de mantenimiento, ocasiona caos y tráfico vehicular.

La mayoría de las vías en nuestro país están construidas con mezclas asfálticas, las cuales son producto de la unión de cemento asfáltico con materiales pétreos, según especificaciones técnicas. Su comportamiento mecánico y dinámico depende de las propiedades de la mezcla, como un todo y de las propiedades individuales de los materiales. [6]

Por la baja calidad del ligante y por la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que en algunos casos las propiedades de los asfaltos convencionales resultan insuficientes y no satisfacen las expectativas como para cumplir determinado período de servicio, es decir menor resistencia al envejecimiento, su poca durabilidad se refleja en deformaciones y fisuras dentro de una carpeta asfáltica. [6]

El presente trabajo el cual consistirá en el diseño de una mezcla asfáltica con desperdicios plásticos, tomando como inicio el diseño de la mezcla asfáltica convencional, a la cual se incorpora desperdicios plásticos PET conocidos como polietileno tereftalato, usados en envases de botellas y textiles, con la finalidad de mejorar el comportamiento físico y mecánico del asfalto convencional. [7]

La producción total de plástico en 2015 alcanzó los 380 millones de toneladas. Hasta la actualidad se han fabricado unos 8,3 mil millones de toneladas de plástico desde que su producción empezase sobre 1950, lo que equivale al peso de unos mil millones de elefantes. Tan solo los fabricantes de bebidas producen más de 500 mil millones de botellas de plástico de un solo uso cada año. [8]

Es por ello la necesidad de desarrollar pavimentos con propiedades de envejecimiento menos acelerados y con un comportamiento ante las solicitudes de tráfico menos influenciadas por factores tanto climáticos, como la calidad del cemento asfáltico, el encarecimiento de la energía, aumento excesivo de automotores, y características mecánicas como el incremento de la carga en eje, etc., han conllevado al uso de material externo en mezclas asfálticas, para la creación de asfaltos modificados. [9]

### **1.1.3. Fundamentación Teórica**

A nivel nacional, se opta por desarrollar mejores características para lograr la sostenibilidad y la calidad a lo que se refiere infraestructura vial buscando así reducir los costos del proyecto y el impacto ambiental generado por el mismo. Es así que, es necesario realizar innovaciones en materiales y métodos utilizados en las construcciones viales. A continuación, se definen conceptos importantes que serán de uso para el presente en el trabajo.

#### **1.1.3.1. Agregados pétreos**

Los agregados pétreos son minerales inertes y duros, empleados en fragmentos para la construcción de pavimentos. Se utilizan también en la construcción de base y subbase granular sirviendo como estructura de soporte a los pavimentos, son los responsables de la capacidad o resistencia de la mezcla. [10]



### **1.1.3.2. Asfalto**

Es un material termoplástico, compuesto por una mezcla de hidrocarburos color café oscuro a negro que es aglomerante, que puede encontrarse en estado natural o ser destilado del petróleo. Este compuesto por asfaltenos que le dan el color y dureza, y por maltenos que le dan el valor cohesivo. [11]

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido, a temperaturas ambientales normales. [12]

### **1.1.3.3. Mezclas Asfálticas**

La mezcla asfáltica es uno de los componentes principales en la construcción de vías terrestres. Como es sabido, dicha mezcla está conformada por distintos materiales, de los cuales depende en gran medida la vida útil de la obra. [13]

La mezcla asfáltica es el resultado de combinar material asfáltico con agregados pétreos en proporciones exactas, o bien, en distribución uniforme. Las proporciones relativas de dichos minerales establecen las propiedades físicas de la mezcla una vez terminada. [13]

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total. [14]

### **1.1.3.4. Mezclas asfálticas en frío**

La mezcla asfáltica en frío es una mezcla de agregado mineral con o sin relleno mineral, con asfalto emulsionado o rebajado, todo el proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente.

En general, las mezclas en frío se clasifican dependiendo del ligante que se utilice, la manera de mezclado, por su granulometría, si se utiliza material reciclado y

finalmente, por periodo de almacenamiento. Estas clasificaciones se describen brevemente a continuación. [15]

Las mezclas asfálticas en frío su principal característica es la trabajabilidad, debido a que posee una viscosidad baja lo que hace que perdure durante semanas, y a su vez ya que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado, tal razón que por el aumento de la viscosidad es muy lento, haciendo esta mezcla asfáltica de fácil almacenaje, pero en contradicción después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el proceso de endurecimiento es congruentemente rápido en las capas, donde ya se extendió el material debido a la condición de evaporación del fluidificante. En si existe un conjunto de mezclas en frío, las cuales se fabrican con una emulsión de rotura lenta, sin la aplicación de ningún tipo de fluidificante, pero esto no es tan común ya que pueden compactarse después de haber roto la emulsión. [14]

**Figura 1. Bacheo con mezcla asfáltica en frío**



**Fuente:** Único asfaltos

#### **1.1.3.4.1. Requisitos para el diseño de Mezclas Asfálticas en Frío**

En las investigaciones realizadas relatan que se debe realizar un análisis de las propiedades de cada elemento que constituyen la mezcla asfáltica, es de suma importancia conocer dichas propiedades debido a que éstas influyen directamente en el comportamiento cuando se unen y forman el organismo de la mezcla, es así que, a continuación, se describen los requerimientos que son necesarios analizar para elaborar una mezcla asfáltica en frío. [16]

**Tabla 1. Requisitos de diseño de Mezclas asfálticas en frío**

<b>Requisitos para el diseño de Mezclas Asfálticas en Frío</b>
Idoneidad de áridos y emulsión asfáltica
Compatibilidad de la emulsión asfáltica y los áridos.
Contenido óptimo de humedad en la compactación.
Contenido óptimo de asfalto residual.
Adecuadas propiedades estructurales y de durabilidad.

**Fuente:** I. Darter, 1978

#### **1.1.3.4.2. Desventaja mezclas asfálticas en frío**

La principal desventaja que tienen las mezclas asfálticas en frío, es que sus propiedades son menores con respecto a las mezclas asfálticas en caliente, ya sea por su capacidad de cohesión o adherencia que brinda con la adición de la emulsión asfáltica conjunto a los agregados, mostrando así alteraciones en un futuro tales como el ingreso de agua y también el desprendimiento de fracciones de mezcla. [16]

#### **1.1.3.4.3. Ventajas mezclas asfálticas en frío**

Las mezclas asfálticas en frío utilizan menor cantidad de material asfáltico, una principal ventaja es que por lo general se puede realizar la mezcla en el sitio donde se va a realizar la puesta, posee una gran facilidad de trabajabilidad y puede utilizarse para grandes extensiones. [17]

**Figura 2. Puesta en bache mezcla asfáltica en frío compuesta por agregados y un ligante asfáltico**



**Fuente:** TDM Asfalto Perú

#### **1.1.3.5. Mezclas asfálticas en caliente**

Las mezclas de asfalto en caliente son materiales complejos, compuestos de agregados minerales y aglutinante de asfalto. Alrededor del 95% en peso de la mezcla lo constituyen los agregados. Tanto las propiedades del agregado grueso como el fino influyen significativamente en su comportamiento. [16]

En este tipo de mezclas se utilizan agregados pétreos con tamaño de partículas predominantemente gruesas (50 a 75 mm) y cemento asfáltico como ligante. La temperatura de fabricación varía entre 110 y 120 °C y se deben extender y compactar preferiblemente a estas mismas temperaturas. [17]

#### **1.1.3.6. Mezclas asfálticas modificadas**

Las mezclas asfálticas modificadas son el producto de la incorporación de asfalto, con un polímero, las cuales se le añaden al material para modificar las propiedades físicas mejorando sus características y comportamiento, éstos producen una actividad superficial, la cual incrementa la adherencia entre el material pétreo y el asfalto. Por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. [18]

#### **1.1.3.7. Emulsión asfáltica**

Las emulsiones asfálticas están principalmente constituidas por un conjunto muy fino de asfalto en agua, la cual se encuentra estabilizada por la acción de un emulsificante lo cual permite que dos líquidos permanezcan mezclados y estables. Las emulsiones asfálticas son muy usadas en lo que se refiera a la construcción y por supuesto al

mantenimiento de carreteras. Dentro del uso originan una menor contaminación al ambiente al no utilizar solventes orgánicos que se evaporan a la atmósfera, haciendo que eviten la contaminación, ya que utiliza el agua como solvente. Las emulsiones asfálticas se pueden clasificar en aniónicas y catiónicas. [22]

**Emulsiones Aniónicas:** Dichas emulsiones presentan como agente emulsificante a una polaridad negativa a los glóbulos, esto quiere decir estos adquieren una carga negativa.

**Emulsiones Catiónicas:** Dichas emulsiones presentan como agente emulsificante a una polaridad positiva a los glóbulos, esto quiere decir estos adquieren una carga positiva. [23]

**Figura 3. Emulsión asfáltica**



**Fuente:** Corporativoag

#### **1.1.3.8. Polímero**

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. El término macromolécula significa molécula muy grande. “Polímero” y “macromolécula” son términos que suelen utilizarse indistintamente, aunque estrictamente hablando no son equivalentes ya que las macromoléculas, en principio, no requieren estar formadas por unidades de repetición. [19]

### 1.1.3.9. Tereftalato de Polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno, polietileno tereftalato, politereftalato de etileno o simplemente “PET”, es un polímero, termoplástico, producido por la polimerización del etilenglicol con ácido tereftálico. [20]

El uso masivo del PET se inició en la década de los 90, principalmente en el sector del envasado debido a las facilidades que ofrece, variedad de formas, colores y las ventajas de su peso relativamente bajo y sus aplicaciones típicas incluyen envases moldeados para bebidas, cintas de grabación magnética, películas fotográficas, además, debido a la baja absorción de la humedad, es ampliamente utilizado en fibras para muebles y fibras mezcladas con algodón para fabricación de ropa. [20]

**Figura 4. Botellas plásticas**



**Fuente:** Filterwan

### **Propiedades PET**

Presenta como características más relevantes:

- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.

- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios. [21]

**Tabla 2. Propiedades Físicas Politereftalato de Etileno (PET)**

PROPIEDADES	Métodos de ISO/(IEC)	Unidades ensayo	Valores
Color		Natural	BL/Ne
Densidad	1183	$\rho/\text{cm}^3$	1.39
<b>Absorción de agua:</b>			
después de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	6-13
		62 %	0,07/0,16
hasta la saturación en aire a 23°C / 50% HR			0.25
hasta la saturación en aire a 23°C			0.5
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>			
Temperatura de Fusión		°C	255
Conductividad térmica a 23°C		W/(K-m)	0.29
<b>Coefficiente de dilatación térmica lineal:</b>			
-Valor medio entre 23 y 60 °C		m/(m-K)	60-10-6
-Valor medio entre 23 y 100°C		m/(m-K)	80-10-6
<b>Temperatura por deformación por carga:</b>			
por método A: 1,8MPa	75	°C	75
<b>Temperatura máxima de servicio en aire:</b>			
-en periodos cortos		°C	160
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100
<b>Temperatura mínima de servicio</b>			
			-20
Inflamabilidad			
Índice de oxígeno	4589 %		25
con respecto a la clasificación UL 94 (para 3/6 mm de espeso)			HB/HB
<b>PROPIEDADES MECANICAS A 23°C</b>			
<b>Ensayo de tracción</b>			
esfuerzo de tensión para fluencia	527	MPa	90
elongación a la rotura			15
-modulo de elasticidad			3,700
<b>Ensayo de compresión</b>			
-esfuerzo al 1/2/5% de deformación	604	MPa	26/51/103
<b>Ensayo de fluencia a tracción</b>			
esfuerzo necesario para producir un 1% de deformación	899	Mpa	26
Resistencia al impacto Charpy-sin entalla	179/1eU	kJ/m2	≥50
Resistencia al impacto Charpy-con entalla	179/1eU	kJ/m2	2
Resistencia al impacto Izod- con entalla	180/2A	kJ/m2	2
Dureza con bola	2039-1	N/mm2	170
Dureza Rockwell		2039-2	M96
<b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS A 23°C</b>			
Resistencia dieléctrica	60243	KV/mm	22
Resistividad volumétrica	60093	$\Omega\text{-cm}$	$>10^{15}$
Resistividad superficial		$\Omega$	$>10^{15}$
<b>Permeabilidad relativa</b>	-a 100		3.4
	-a 1 Hz		3.2
<b>Factor de pérdidas dieléctricas a</b>	-a 100		0.001
	-a 1 MHz		0.014
Índice comparativo de la resistencia a la descarga	60112		600

**Fuente:** Elaplas



### **1.1.3.10. Propiedades físicas de las mezclas asfálticas**

#### **1.1.3.10.1. Estabilidad**

La estabilidad de una mezcla asfáltica es la capacidad de resistir los desplazamientos y la deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señales que indican cambios en la mezcla. [22]

#### **1.1.3.10.2. Durabilidad**

La durabilidad es la permanencia de las propiedades cohesivas del ligante asfáltico y su correlación con el tiempo de vida útil de la estructura. La durabilidad está vinculada a factores que dependen del betún como las propiedades reológicas y su durabilidad intrínseca. [23]

#### **1.1.3.10.3. Permeabilidad**

La permeabilidad del concreto asfáltico es una propiedad importante en el diseño de pavimentos y barreras impermeables ya que la presencia de agua por periodos largos en su interior puede afectar de manera significativa su desempeño al presentarse el fenómeno de stripping la cual es la separación del cemento asfáltico y el agregado pétreo. [24]

#### **1.1.3.10.4. Trabajabilidad**

Es la propiedad relacionada con la facilidad con que la mezcla asfáltica es colocada y compactada in situ. Una buena mezcla debe ser capaz de permitir su colocación y compactación, sin que se requiera un esfuerzo demasiado grande. Esta propiedad, generalmente depende de uno, o una combinación, de los siguientes factores: características del agregado, la granulometría, el contenido, y la viscosidad del asfalto. [25]

#### **1.1.3.10.5. Flexibilidad**

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para amoldarse, sin sufrir agrietamiento o fisuración, a los asentamientos y movimientos graduales de la base y la subrasante. En ocasiones esta propiedad presenta conflictos con los requerimientos de estabilidad. [25]

#### **1.1.3.10.6. Resistencia a la fatiga**

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir cargas repetidas causadas por el paso de los vehículos. El agrietamiento por fatiga está relacionado con el contenido y la rigidez del asfalto. [25]

#### **1.1.3.10.7. Resistencia a la fractura miento por baja temperatura**

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no agrietarse en condiciones de bajas temperaturas. Depende principalmente de la rigidez del asfalto a bajas temperaturas [25]

#### **1.1.3.10.8. Resistencia al deslizamiento**

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no perder adherencia entre el neumático y la superficie de rodamiento, en particular cuando está húmeda. [25]

#### **1.1.3.11. Ensayo Marshall**

El concepto del método de diseño de mezclas bituminosas fue desarrollado por Bruce Marshall en el Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi, en Estados Unidos. En su forma actual, este ensayo surgió de una investigación iniciada por el cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos en 1943 en la búsqueda de un método de diseño y control de pistas de aeropuertos durante la Segunda Guerra Mundial. El cuerpo de ingenieros decidió adoptar el Método Marshall debido en parte a que utilizaba un equipo de fácil manejo, portátil y que podía utilizarse rápidamente en obra. Se realizaron muchos tramos de prueba haciendo servir un tráfico simulado para determinar el comportamiento de las mezclas variando su composición y para establecer la energía de compactación necesaria al fabricar las probetas con densidad similar a la obtenida en obra. [26]

El propósito del método de dosificación Marshall es determinar el contenido óptimo de betún para una combinación específica de áridos. Se trata de un ensayo mecánico que consiste en romper probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro por 63,5 mm de altura preparadas y compactadas mediante un martillo de peso y altura de caída normalizados. Posteriormente se calientan a una temperatura de 60°C y se rompen en

la prensa Marshall mediante la aplicación de una carga vertical a través de una mordaza perimetral y una velocidad de deformación constante de 50,8 mm/min para determinar su estabilidad y deformación. Este método establece densidades y contenidos óptimos de huecos que se han de cumplir durante la construcción del pavimento. [26]

**Figura 5. Equipo Marshall**



**Fuente:** Cotecno

**Figura 6. Briquetas de Hormigón Asfáltico**



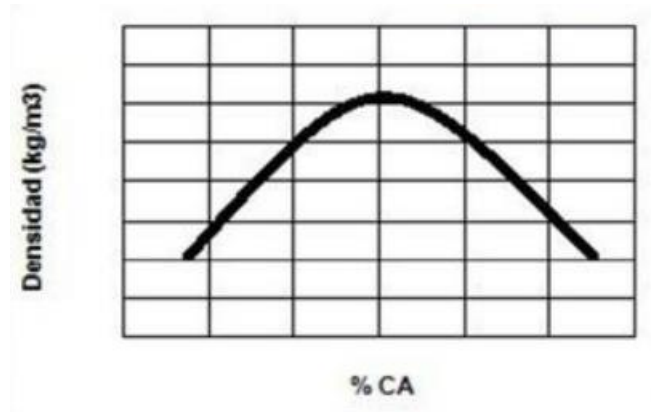
**Fuente:** E.S.P.E

#### **1.1.3.11.1. Propiedades del ensayo Marshall**

- **Peso Específico “BULK”**

Para la determinación del peso específico “Bulk” de las probetas previamente compactadas, se utilizará la relación entre su peso en el aire y el volumen añadiendo los vacíos permeables.

**Figura 7. Peso Específico BULK vs Emulsión Asfáltica**



**Fuente:** Diseño de mezclas asfálticas - Francisco Javier Salvador Zúñiga Torres

- **Peso Específico Máximo Teórico**

Para el cálculo del peso específico máximo teórico corresponde al que teóricamente se conseguirá se obtendrá si fuera posible comprimir la muestra hasta conseguir una masa de asfalto y de agregados sin de vacíos con aire.

$$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$$

**Donde:**

**%Agreg:** Porcentaje de agregado

**%CA:** Porcentaje de cemento asfáltico o emulsión asfáltica

**Gagr:** Gravedad específica del agregado

**Gasf:** Gravedad específica del cemento asfáltico o emulsión asfáltica

- **Específico Máximo Medido**

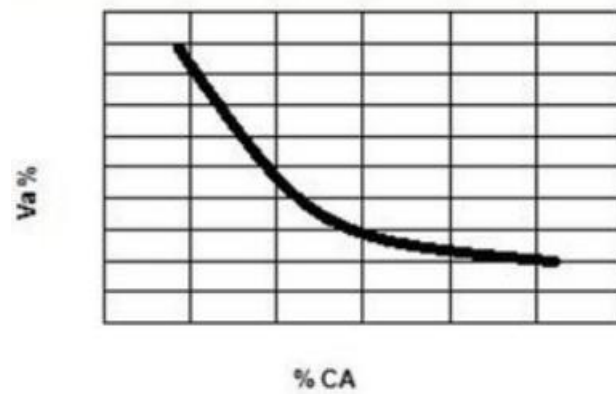
El peso específico máximo medido, se determina por medio del método desarrollado por el investigador James Rice, su valor es muy necesario para conocer el porcentaje

de asfalto que se ha absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada.

- **Porcentaje de vacíos**

El porcentaje de vacíos representa el volumen total de una diminuta bolsa de aire entre las aquellas partículas que se encuentran cubiertas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, en pocas palabras es conocido como el porcentaje del volumen neto de la mezcla asfáltica compactada. [32]

**Figura 8. % de Vacíos vs Emulsión Asfáltica**

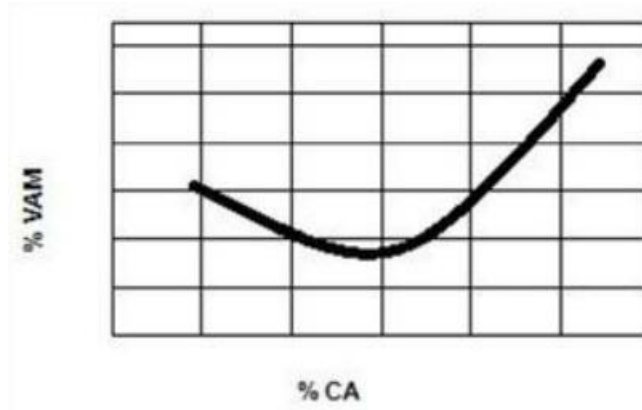


**Fuente:** Diseño de mezclas asfálticas - Francisco Javier Salvador Zúñiga Torres

- **Porcentaje de vacíos en agregado mineral**

El porcentaje de vacíos en agregado mineral representa el volumen de espacio vacío intergranular que existe entre las partículas del agregado correspondiente a una mezcla asfáltica compactada, éstos incluyen los vacíos de aire y el porcentaje de asfalto efectivo, dicho valor es expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra. [32]

**Figura 9. % de Vacíos en agregado mineral vs Emulsión Asfáltica**

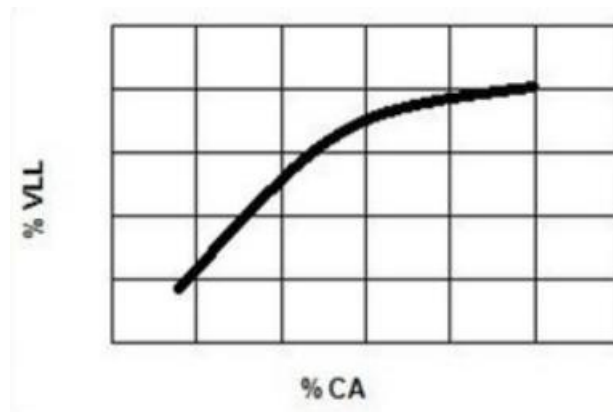


**Fuente:** Diseño de mezclas asfálticas - Francisco Javier Salvador Zúñiga Torres

- **Porcentaje de vacíos llenos de asfalto**

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto representa la porción del porcentaje del volumen de espacio vacío intergranular que existe entre las partículas del agregado de la mezcla asfáltica, éste se encuentra ocupado por el asfalto efectivo. [32]

**Figura 10. % de Vacíos llenos de asfalto vs Emulsión Asfáltica**



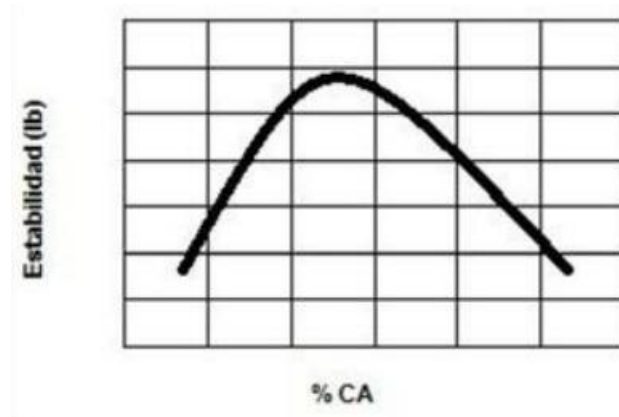
**Fuente:** Diseño de mezclas asfálticas - Francisco Javier Salvador Zúñiga Torres

- **Estabilidad**

La estabilidad corresponde a la máxima resistencia en libras que una briqueta ensayada desarrollará a 60 ° C para mezclas asfálticas en caliente y 25° para mezclas asfálticas en frío. La estabilidad para una mezcla se verá afectada en aumento con un incremento

en el porcentaje de asfalto hasta alcanzar un máximo, después del cual disminuye como se puede observar en la siguiente imagen [32]

**Figura 11. Estabilidad vs Emulsión Asfáltica**

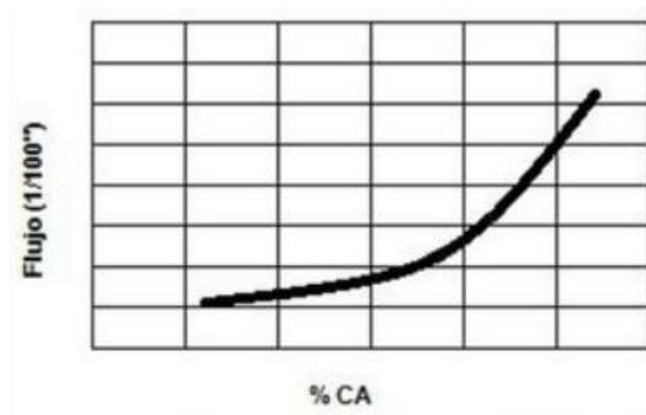


**Fuente:** Diseño de mezclas asfálticas - Francisco Javier Salvador Zúñiga Torres

- **Flujo**

El valor de flujo dentro de las propiedades volumétricas corresponde al movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm o en pulgada sobre milímetros, que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad. [32]

**Figura 12. Flujo vs Emulsión Asfáltica**



**Fuente:** Diseño de mezclas asfálticas - Francisco Javier Salvador Zúñiga Torres

### **1.1.3.12. Ensayos de laboratorio**

#### **1.1.3.12.1. Granulometría**

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Conocida la composición granulométrica del material, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo. [27]

#### **1.1.3.12.2. Límite líquido**

El límite líquido se puede definir como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con lo cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al refuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de  $25\text{g/cm}^2$ . [27]

#### **1.1.3.12.3. Límite plástico**

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. Para determinarlo, generalmente se hace uso del material que, mezclado con el agua, forma una pasta y al cual se le evapora humedad hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. [27]

#### **1.1.3.12.4. Densidad de los agregados**

La densidad absoluta de un cuerpo es la masa de dicho cuerpo contenida en la unidad de volumen, sin incluir vacíos. La densidad aparente es la masa de un cuerpo contenida en la unidad de volumen, incluyendo vacíos. [27]



### 1.1.3.12.5. Abrasión

La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.

Para determinar la dureza se utiliza un método indirecto cuyo procedimiento se encuentra descrito en la NTE INEN 860 y 861 para los agregados gruesos. Dicho método más conocido como el de la Máquina de los Ángeles, consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de bolas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial. [28]

### 1.1.3.12.6. Método Rice

Este método de ensayo da como resultado la existencia de valores correctos de porcentajes de vacíos totales que afectan directamente a la calidad de la mezcla. Parámetros como el contenido de vacíos totales en el diseño de mezcla y el porcentaje de compactación durante la colocación del concreto asfáltico, son controlados por medio de la gravedad máxima teórica. [29]

**Figura 13. Máquina extractora de vacíos – Para ensayo rice Rice**

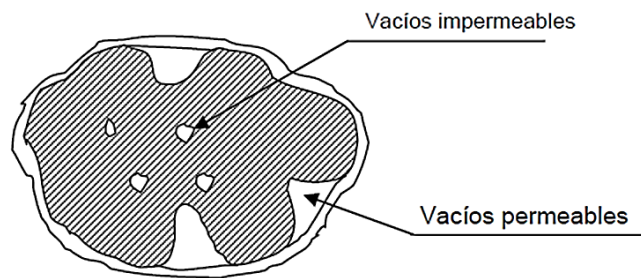


**Fuente:** Fercumza

### 1.1.3.12.7. Gravedad específica seca “BULK” de los agregados

La gravedad específica seca “BULK” de los agregados corresponde a la relación del peso en el aire de un material catalogado como permeable con la inclusión de los vacíos ya sean éstos permeables o impermeables del material, así como también el volumen de los poros llenos con agua luego de las 24±4 de inmersión, todo en conjunto con su temperatura establecida al volumen del agregado incluyendo los vacíos permeables.

**Figura 14. Gravedad Específica Seca Bulk en agregado grueso**

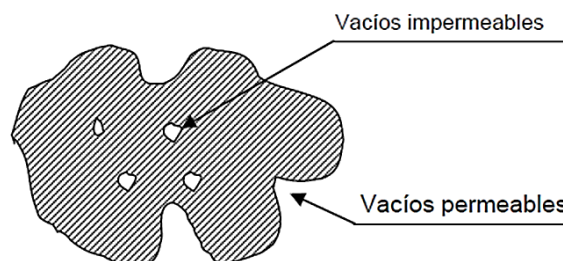


**Fuente:** Instituto del Asfalto. Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción

### 1.1.3.12.8. Gravedad específica seca aparente de los agregados

La gravedad específica seca aparente de los agregados corresponde a la correspondencia entre el peso en el aire de un material impermeable con el volumen del agregado conteniendo los vacíos impermeables. Así como también contiene únicamente el volumen de las partículas de agregado más los poros que se encuentran al interior que no han sido llenados con agua después las 24±4 horas de inmersión.

**Figura 15. Gravedad Específica Seca “BULK” en agregado grueso**

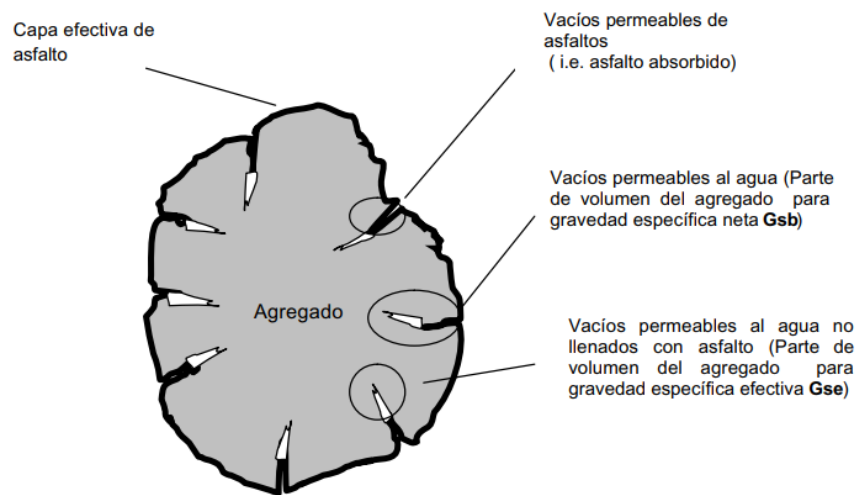


**Fuente:** Instituto del Asfalto. Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción

### 1.1.3.12.9. Gravedad específica saturada con superficie seca de los agregados o gravedad específica efectiva

Gravedad específica saturada con superficie seca de los agregados corresponde a la relación de la densidad en S.S.S es decir a la masa de agregado saturado superficialmente seco esto por unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo también el volumen de vacíos impermeables y los poros llenos de agua dentro de las partículas, pero cabe recalcar que no incluye los poros entre las partículas todo aquello relacionado con la densidad del agua a una temperatura declarada.

**Figura 16. Ilustración de los parámetros de diseño volumétrico**



**Fuente:** Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte

## 1.2. Hipótesis

- 1.2.1. La adición de PET en la mezcla asfáltica modificará las propiedades físico - mecánicas mejorándolas e incrementando sus propiedades.
- 1.2.2. En el diseño de un pavimento flexible al emplearse mezclas asfálticas modificadas con la utilización de PET ocasionará que las características físico – mecánicas sean duraderas y más resistentes que un pavimento flexible tradicional.

**1.2.3.** La mezcla asfáltica modificada con PET, cumple con los valores establecidos por norma para valores establecidos dentro de una mezcla asfáltica tradicional.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Analizar el efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades y características de los materiales que se utilizarán para el diseño de la mezcla.
- Evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en frío modificadas con diferentes porcentajes de partículas de tereftalato de polietileno (PET) mediante el método Marshall.
- Realizar un análisis comparativo entre las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas en frío con partículas de tereftalato de polietileno (PET) y la mezcla asfáltica sin modificar.
- Diseñar un pavimento flexible compuesto de mezcla asfáltica modificada en frío y otro compuesto de mezcla asfáltica sin modificar.

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

El proyecto de investigación se enfoca en realizar una comparación de una mezcla asfáltica convencional con una mezcla asfáltica modificada con polímeros (PET), utilizando como método de experimentación Marshall.

Esto se conseguirá mediante una serie de pasos comenzando con: la caracterización y análisis del agregado pétreo y los ensayos en las mezclas asfálticas tanto convencional como modificada, éstas ayudarán a determinar los resultados para presenta mejores características en un estudio técnico.

#### 2.1. Materiales y Equipos

**Tabla 3. Ensayos, Materiales y Equipos necesarios**

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>EQUIPO</b>
<b>Resistencia al desgaste por abrasión</b>	NTE INEN 860 NTE INEN 861	Material pétreo fino y grueso	Máquina de los ángeles Recipientes Horno Balanza
<b>Granulometría</b>	AASHTO T87-70 ASTM D421-58 INEN 696	Muestra de agregado tanto fino como grueso cuarteada y lavada 1000 gr aproximadamente.  Agua	Tamices Tamizadora Tapa Fuente Balanza Recipientes Brocha Horno Guantes
<b>Límite Líquido</b>	AASHTO T90-70 ASTM D424-71 INEN 691	Muestra de agregado fino que pase el tamiz N°40  Agua	Tamiz N°40 Copa Casagrande Ranurador Espátula de punta redonda Probeta Mortero de porcelana Pistillo de goma

			<p>Recipientes metálicos</p> <p>Balanza</p> <p>Horno</p> <p>Guantes</p>
<b>Límite Plástico</b>	AASHTO T90-20 ASTM D424-59-74 INEN 691	<p>Muestra de agregado fino que pase el tamiz N°40</p> <p>Agua</p>	<p>Tamiz N°40</p> <p>Placa de vidrio templado</p> <p>Probeta</p> <p>Espátula de punta redonda</p> <p>Mortero de porcelana</p> <p>Pistillo de goma</p> <p>Recipientes metálicos</p> <p>Balanza</p> <p>Horno</p> <p>Guantes</p>
<b>Densidad del árido grueso</b>	NTE INEN 857	<p>Material pétreo</p> <p>Agua</p>	<p>Balanza</p> <p>Recipiente para muestra</p> <p>Tanque de agua</p> <p>Tamices</p> <p>Horno</p>
<b>Determinación del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica</b>	ASTM D 1559 y AASHTO T 225	<p>Agregados gruesos, agregados finos, relleno mineral, emulsión asfáltica.</p> <p>Agua</p>	<p>Equipo de ensayo Marshall</p> <p>Recipientes</p> <p>Moldes para briquetas</p> <p>Enrazador Diesel</p> <p>Guaípe</p> <p>Compactador</p> <p>Rotulador</p>
<b>Briquetas de hormigón asfáltico con adición del 0, 3, 6, 9, 12, 15 % en peso de partículas PET.</b>	ASTM D 1559 y AASHTO T 225	<p>Agregados gruesos, agregados finos, relleno mineral, emulsión asfáltica, partículas PET.</p> <p>Agua</p>	<p>Equipo de ensayo Marshall</p> <p>Recipientes</p> <p>Moldes para briquetas</p> <p>Enrazador Diesel</p> <p>Guaípe</p> <p>Compactador</p> <p>Rotulador</p>
<b>Determinación de la densidad máxima teórica</b>	ASTM D 2041-AASHTO T 209	<p>Asfalto modificado.</p> <p>Agua</p>	<p>Extractor de vacíos</p> <p>Recipientes de vidrio</p>

			Balanza electrónica Enrazador Guantes
<b>Determinación de estabilidad y flujo de briquetas</b>	ASTM D 1559 y AASHTO T 225	Asfalto modificado.	Equipo de ensayo Marshall Recipientes para briquetas Moldes Enrazador Diesel Guaípe Compactador Rotulador

**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Looor

**Figura 17. Ensayo Resistencia al desgaste por abrasión**



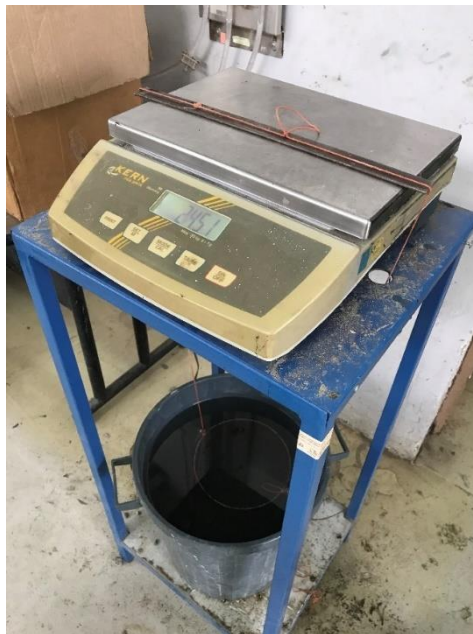
**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Looor

**Figura 18. Ensayo Granulometría**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

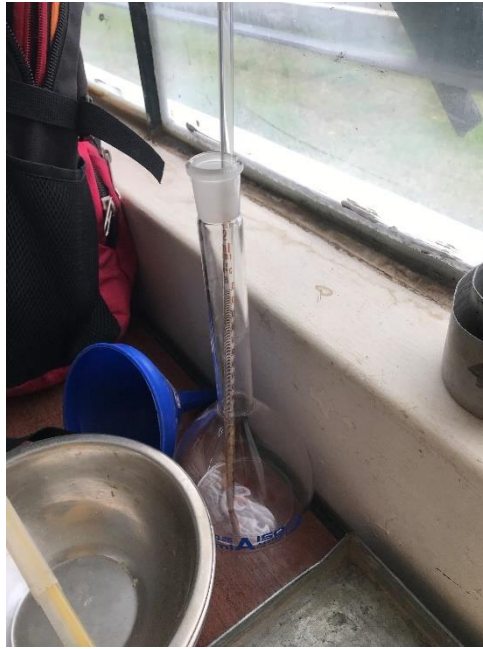
**Figura 19. Ensayo Densidad del árido grueso**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo



**Figura 20. Ensayo Densidad del árido fino**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

**Figura 21. Ensayo Límite Líquido**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

**Figura 22. Ensayo Límite Plástico**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

**Figura 23. Elaboración de Briquetas**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

**Figura 24. Ensayo Marshall**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 25. Ensayo Rice**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

## **2.2. Métodos**

La metodología empleada en el presente trabajo tiene un tipo de investigación experimental ya que se obtiene información de una serie de actividades técnicas, analíticas y metódicas que ayudan a comprobar las hipótesis planteadas correspondiente a los siguientes niveles que se detallan a continuación.

### **2.2.1. Nivel Exploratorio**

Dicha investigación se basa su información en libros, artículos científicos, ensayos, guías de laboratorio, y tesis a fines al tema de investigación las cuales permitan tener un conocimiento más vasto, claro y breve del tema con ello permitir conocer distintos criterios y conceptos que faciliten y guíen el desarrollo de esta investigación de forma acertada.

Esta investigación es de tipo exploratorio ya que es necesario establecer sitios o productores o canteras de donde se puedan obtener los materiales necesarios (Material pétreo, emulsión asfáltica, PET), adquiriendo las cantidades correspondientes para los ensayos a realizarse posteriormente.

### **2.2.2. Nivel Descriptivo**

Dicha investigación a su vez es de tipo descriptiva ya que se deben detallar, tabular, ensayar, interpretar y analizar los datos que se obtendrán de los diferentes ensayos principalmente, así como también detallar las características y propiedades de los materiales que intervienen en el procedimiento.

La cantidad de polímero deben ser añadidas en diferentes porcentajes (3, 6, 9, 12, 15) para el ensayo Marshall.

### **2.2.3. Nivel Explicativo**

Es indispensable conocer si las hipótesis que se plantearon serán tomadas acertadas o denegadas, es así como se deberá partir de los análisis de las propiedades físicas de los materiales como su densidad, límite plástico, límite líquido y granulometría donde dichos ensayos permitirán optimizar el nivel de estudio.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados continuarán con la determinación del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica mediante la elaboración de briquetas y

posteriormente la elaboración de nuevas briquetas de hormigón asfáltico con la adición de PET, siendo analizadas con el fin de encontrar su máxima densidad teórica, la determinación de la estabilidad y flujo de éstas siendo este el último paso para el diseño de pavimentos flexibles, con ello llegar a una conclusión conforme al análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

### 2.3. Población y Muestra

Dicha investigación al ser de tipo experimental se va a considerar que la población y muestra serán las mismas, en base a la norma AASHTO T 245, ASTM D 1559, se elabora y ensaya a compresión briquetas de asfalto tradicional por cada porcentaje de cemento asfáltico y briquetas de asfalto con adición de polímero PET en porcentajes de 3%, 6%, 9%, 12% y 15% por cada uno de los porcentajes de cemento asfáltico, obteniendo así un total de 48 briquetas.

### 2.4. Plan de recolección de datos

**Tabla 4. Plan de recolección de datos**

<b>Preguntas Elementales</b>	<b>Detalles</b>
¿Para qué?	Analizar la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas con adición de polímeros PET y mezclas asfálticas convencionales.
¿Sobre qué aspectos?	Variación de la estabilidad y flujo de las diferentes briquetas de mezclas asfálticas.
¿Quién?	Shumacher Duvalier Gavilanes Loor
¿De qué personas u objetos?	De briquetas de mezclas asfálticas con adición de Tereftalato de Polietileno en porcentajes de 3%, 6%, 9%, 12%, y 15%, y mezclas asfálticas convencionales.
¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica,

	Universidad Técnica de Ambato. Laboratorio de Mecánica de Suelos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato.
¿Cómo?	Mediante la investigación bibliográfica y la elaboración de ensayos de laboratorio.

**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

## **2.5. Plan de procesamiento y Análisis de la Información**

### **2.5.1. Plan de procesamiento de la información**

- Revisión exhaustiva de la información recabada.
- Tabulación de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio para determinar y analizar las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas de modificadas.
- Graficación de los resultados de los ensayos de laboratorio por medio de programas como lo son Word, Excel, para detallar e interpretar la información de dichos resultados.

### **2.5.2. Plan de Análisis de la información**

- A partir de lo planteado en los objetivos e hipótesis, analizar e interpretar los resultados obtenidos
- Establecer el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica que será utilizado para la realización de la mezcla asfáltica mediante la ejecución del ensayo Marshall.
- Evaluar el porcentaje óptimo de partículas PET, mediante las briquetas de hormigón asfáltico con la ejecución del ensayo Marshall.
- Determinación de la densidad máxima teórica mediante el ensayo de briquetas con el método RICE.
- Determinación estabilidad y flujo óptimo dentro de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en frío mediante el ensayo de briquetas con el método Marshall.

- Diseño de dos pavimentos flexibles utilizando los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas modificadas con partículas PET y mezclas asfálticas sin modificar.
- Concluir si la hipótesis planteada se la toma como verdadera o falsa una vez que se han analizado todas las propiedades de las mezclas asfálticas y sus especificaciones técnicas de diseño en lo que se refiere a diseño de pavimentos flexibles.

## **CAPÍTULO III**

### **3. RESULTADO Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Análisis y discusión de resultados**



En dicho capítulo se muestra a continuación los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados tales como determinación del contenido de humedad, ensayo de abrasión, su análisis granulométrico y la gravedad específica y absorción correspondientes al agregado grueso, para el agregado fino los ensayos necesarios son el contenido de humedad, los límites de Atterberg, el análisis granulométrico y su gravedad específica y absorción, tanto su tabulación como su graficación serán esquematizados y presentados previo a la fabricación de briquetas de asfalto, las cuales fueron conseguidos de la Cantera las Viñas del sector las Viñas en la provincia de Tungurahua.

Cada uno de los ensayos se deben regir por el contenido respectivo de las normas INEN y del Ministerio de Obras Públicas para su correcta verificación

##### **3.1.1. Contenido de Humedad Agregado grueso**





**Tabla 5. Contenido de Humedad Agregado 3/4**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 			
<b>TEMA:</b> “Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”			
<b>ENSAYO:</b> DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)			
<b>NORMATIVA:</b> NTE INEN 862			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b>	M3
<b>Fecha:</b>	Ago-22		
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	161.24	157.36
Peso muestra seca + recipiente	gr	157.68	154.21
Peso del recipiente	gr	27.69	25.38
Peso del agua	gr	3.56	3.15
Peso de la muestra seca	gr	129.99	128.83
Contenido de humedad (W%)	%	2.74	2.45
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>2.59</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
El contenido de humedad obtenido en laboratorio es de 2.59 gr/cm <sup>3</sup>			
<b>Realizado por:</b>		<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes		Ing. Favio Portilla	



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 6. Contenido de Humedad Agregado 1/2**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN			
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)		
<b>NORMATIVA: NTE INEN 862</b>			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b>	Agregado 1/2
<b>Fecha:</b>	Ago-22		
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	145.26	140.56
Peso muestra seca + recipiente	gr	141.78	135.15
Peso del recipiente	gr	27.86	26.84
Peso del agua	gr	3.48	5.41
Peso de la muestra seca	gr	113.92	108.31
Contenido de humedad (W%)	%	3.05	4.99
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>4.02</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
El contenido de humedad obtenido en laboratorio es de 4.02 gr/cm <sup>3</sup>			
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>		
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla		



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 7. Contenido de Humedad Agregado Fino**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN			
<b>TEMA:</b>		“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”			
<b>ENSAYO:</b>		DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)			
<b>NORMATIVA: NTE INEN 862</b>					
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>					
<b>Provincia:</b>		Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>		9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>		Ambato	<b>Coordenada Y:</b>		769283.63
<b>Parroquia:</b>		Izamba	<b>ID Muestra:</b>		M1
<b>Fecha:</b>		Ago-22			
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>					
Muestra N°			<b>1</b>	<b>2</b>	
Peso muestra húmeda + recipiente	gr		183.24	178.56	
Peso muestra seca + recipiente	gr		178.45	174.28	
Peso del recipiente	gr		26.89	27.82	
Peso del agua	gr		4.79	4.28	
Peso de la muestra seca	gr		151.56	146.46	
Contenido de humedad (W%)	%		3.16	2.92	
Promedio del contenido de humedad (W%)	%		<b>3.04</b>		
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>					
El contenido de humedad obtenido en laboratorio es de 3.04 gr/cm <sup>3</sup>					
<b>Realizado por:</b>			<b>Revisado por:</b>		
Shumacher Gavilanes			Ing. Favio Portilla		

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 8. Resistencia al desgaste por abrasión Agregado Grueso**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 			
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>	<b>RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN</b>		
<b>NORMATIVA: NTE INEN 860</b>			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Peso Muestra:</b>	5000 gr
<b>Fecha:</b>	Ago-22		
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Masa de la Muestra a ensayar	gr	<b>5000</b>	
Masa Desgastada	gr	3874.00	
Masa perdida por Desgaste	gr	1126.00	
Desgaste del Agregado	%	22.52	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
El desgaste del agregado obtenido en laboratorio es de 22.52 %			
<b>Realizado por:</b>		<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes		Ing. Favio Portilla	

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### 3.1.2. Análisis granulométrico

En lo que se refiere al análisis granulométrico es principalmente la determinación de la cantidad porcentual (%) de los diferentes tamaños de las partículas que componen el agregado y constituyen la muestra. Se consigue con la utilización de tamices cuyas aberturas son estandarizadas para la realización del ensayo. Este ensayo se realizó de acuerdo a lo descrito en la sección 811-4.9 (NEVI-12).



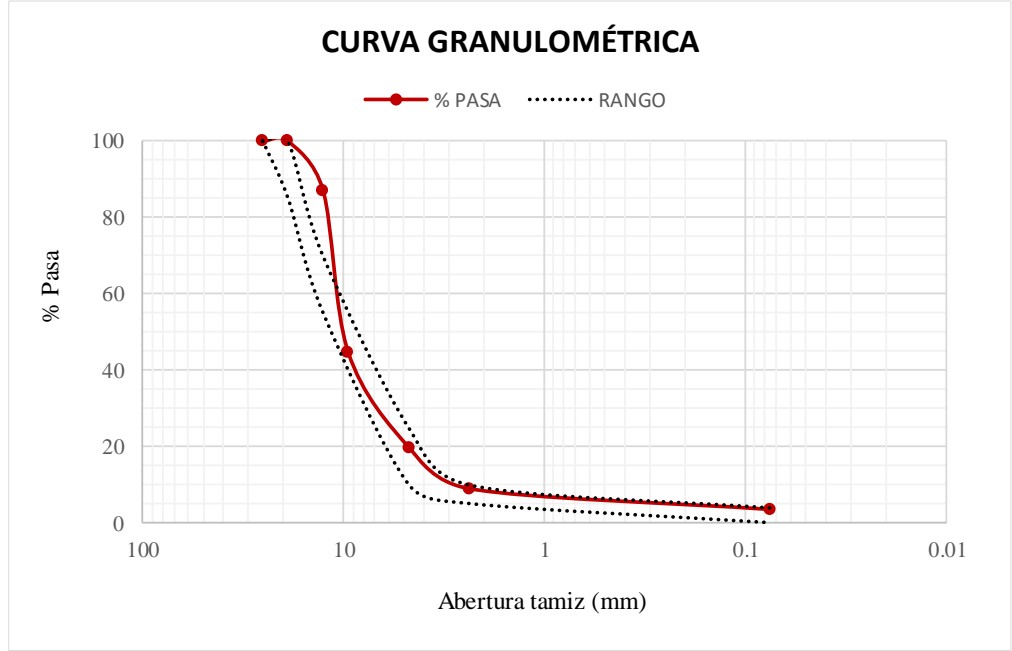
**Tabla 9. Requisitos de Graduación granulométrica**

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	3/8"	1/2"	3/4"
1" (25.4 mm)	-	-	100
3/4" (19 mm)	-	100	85 a 100
1/2" (12.7 mm)	100	80 a 100	55 a 70
3/8" (9.50 mm)	85 a 100	35 a 60	-
Nº4 (4.75 mm)	20 a 30	10 a 25	10 a 25
Nº8 (2.36 mm)	5 a 15	5 a 10	5 a 10
Nº200 (0.075 mm)	0 a 4	0 a 4	0 a 4

**Fuente:** Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12

Para el presente agregado a ensayar se utiliza la graduación del tamiz 3/4", identificado como base para uso constructivo.

**Tabla 10. Análisis Granulométrico de los Agregados**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 						
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”					
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRANULOMETRÍA AGREGADOS</b>					
<b>NORMATIVA:</b> ASTM: D421-58 D-422-63, AASHTO: 7-87-70 7-88-70						
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>						
<b>Provincia:</b>	Tungurahua <b>Coordenada X:</b> 9862146.12 17 S					
<b>Cantón:</b>	Ambato <b>Coordenada Y:</b> 769283.625					
<b>Parroquia:</b>	Izamba					
<b>Fecha:</b>	Ago-22					
<b>Peso Inicial (gr):</b>	1200					
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% RANGOS MAXIMO Y MINIMOS</b>
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19	0	0.00	0.00	100.00	85-100
1/2"	12.70	153.4	153.40	12.78	87.22	55-70
3/8"	9.5	511.3	664.70	55.39	44.61	-
#4	4.75	297.9	962.60	80.22	19.78	10-25
#8	2.36	130.7	1093.30	91.11	8.89	5-10
#200	0.075	65.3	1158.60	96.55	3.45	0-4
Fuente		41.4	1200.00	100.00	0.00	
<b>RESULTADOS</b>						
<b>CURVA GRANULOMÉTRICA</b> 						
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>		
Shumacher Gavilanes				Ing. Favio Portilla		

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### **3.1.3. Gravedad específica y absorción del agregado fino.**

Para el cálculo de la Gravedad específica y absorción del agregado fino se toma como normativa principal a la Norma INEN 856 la cual describe el proceso para determinar dicho ensayo, donde el material deberá ser sumergido en agua por un lapso de 24 horas. Se utilizará el método del picnómetro.

Para trabajabilidad la muestra por lo menos debe estar sumergida en agua por  $24 \pm 4$  horas es decir un 1 día completo, una vez cumplido este tiempo se deberá retirar del agua y ésta será extendida en una superficie plana no absorbente preferiblemente aluminio, la cual está expuesta al exterior, donde pase una corriente suave de aire caliente y mantener un constante movimiento con el fin de tener un secado homogéneo.

Para corroborar que la muestra antes expuesta se encuentra en estado superficialmente seca SSS, se la verterá en un molde una porción del agregado fino y se lo procederá a compacta con 25 golpes ligeros con ayuda del compactador, después se procederá a retirar el molde verticalmente y con lo cual se observa si se desmorona ligeramente indicando que ha alcanzado su condición SSS.

Luego de lo realizado se procederá a pesar el picnómetro vacío, para luego llenar parcialmente el picnómetro con agua, se pesa 500g de muestra SSS para proceder a colocarla en el picnómetro con agua hasta la marca de aforo y se pesa todo en el conjunto.

**Figura 26. Picnómetro con agua y termómetro**





**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

Se proceder a agitar el picnómetro para liberar las burbujas de aire que contiene, se toma la temperatura del picnómetro y su contenido.

Se procede a retirar el agregado fino del picnómetro con cuidado y la muestra resultante es ingresada en el horno por  $24 \pm 4$  horas para determinar su masa y su contenido de humedad.



**Tabla 11. Gravedad específica y absorción del agregado fino.**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D854-48, INEN 856-1	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b> M4
<b>Fecha:</b>	Ago-22	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Ensayo N°		<b>1</b>
Temperatura del agua + suelo	°C	21.00
Peso del recipiente	gr	171.21
Peso del recipiente + peso del suelo seco	gr	221.21
Peso del picnómetro + agua (Wbw)	gr	650.30
Peso del suelo seco Ws	gr	50.00
Ws+Wbw	gr	700.30
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	gr	680.00
Desplazamiento del agua	gr	20.30
Factor de corrección por temperatura	K	0.9980
Gravedad Específica (Gs)		<b>2.46</b>
<b>DETERMINACIÓN CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>		
Masa del recipiente	gr	110.00
Masa del recipiente + muestra SSS	gr	611.00
Masa de la muestra SSS	gr	501.00
Masa del recipiente + muestra seca	gr	601.00
Masa de la muestra seca	gr	491.00
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK</b>	gr/cm <sup>3</sup>	24.19
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA APARENTE</b>	gr/cm <sup>3</sup>	1.06
Capacidad de absorción	%	2.04
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La gravedad específica obtenida para esta muestra de agregado es de 2,46.		
A una temperatura de 21°C el peso del picnómetro más agua es de 650.3 gr.		
La capacidad de absorción obtenida para esta muestra de agregado es de 2.04%		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla	

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**



#### **3.1.4. Gravedad específica y absorción del agregado grueso**

Para el cálculo de la gravedad específica y absorción del agregado grueso se utiliza como normativa principal a la Norma INEN 857 la cual describe el proceso para la realización de este ensayo.

La muestra a ser ensayada deberá permanecer sumergida en agua a temperatura ambiente durante un período de  $24 \pm 4$  horas.



Posterior al sumergimiento se debe retirar la muestra del agua; ésta será colocada sobre una franela o trapo absorbente para secar el material superficialmente. Con ello se procede a determinar la masa en la condición S.S.S de la muestra de ensayo con la ayuda de la canastilla tanto en aire como en el agua para los cálculos respectivos.

**Tabla 12. Gravedad específica y absorción del agregado grueso ½**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D854-48, INEN 856-1	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b> M5
<b>Fecha:</b>	Ago-22	
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Masa de la canastilla en el aire	gr	1237
Masa de la canastilla en el agua	gr	1047
Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	3255
Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2252
Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1
Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2018
Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1205
Volumen real de la Muestra	cm <sup>3</sup>	813
GRAVEDAD SSS BULK	gr/cc	2.482
<b>DETERMINACIÓN CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>		
Masa del recipiente	gr	292.00
Masa del recipiente + muestra SSS	gr	2382.00
Masa de la muestra SSS	gr	2090.00
Masa del recipiente + muestra seca	gr	2254.00
Masa de la muestra seca	gr	1962.00
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK	gr/cm <sup>3</sup>	2.41
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.59
Capacidad de absorción	%	6.52
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La gravedad específica obtenida para esta muestra de suelo es de 2,482 gr/cm <sup>3</sup> .		
La gravedad específica seca obtenida para esta muestra de suelo es de 2,41 gr/cm <sup>3</sup> .		
La gravedad específica seca aparente obtenida para esta muestra de suelo es de 2,59 gr/cm <sup>3</sup> .		
La capacidad de absorción obtenida es de 6.52 %		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla	

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 13. Gravedad específica y absorción del agregado grueso  $\frac{3}{4}$**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D854-48, INEN 856-1	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b> M6
<b>Fecha:</b>	Ago-22	
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Masa de la canastilla en el aire	gr	1237
Masa de la canastilla en el agua	gr	1079
Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	3493
Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2451
Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1
Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2256
Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1372
Volumen real de la Muestra	cm <sup>3</sup>	884
GRAVEDAD SSS BULK	gr/cc	2.552
<b>DETERMINACIÓN CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>		
Masa del recipiente	gr	264.00
Masa del recipiente + muestra SSS	gr	2617.00
Masa de la muestra SSS	gr	2353.00
Masa del recipiente + muestra seca	gr	2483.00
Masa de la muestra seca	gr	2219.00
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK	gr/cm <sup>3</sup>	2.51
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.62
Capacidad de absorción	%	6.04
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La gravedad específica obtenida para esta muestra de suelo es de 2,552 gr/cm <sup>3</sup> .		
La gravedad específica seca obtenida para esta muestra de suelo es de 2,51 gr/cm <sup>3</sup> .		
La gravedad específica seca aparente obtenida para esta muestra de suelo es de 2,62 gr/cm <sup>3</sup> .		
La capacidad de absorción obtenida es de 6.04 %		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla	

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### 3.1.5. Desgaste por abrasión

En la norma INEN 860 se indica el procedimiento para la determinación del valor de la resistencia al desgaste de los agregados que es utilizado como un indicador de la calidad del agregado.

Este ensayo se realiza en la Máquina de los Ángeles con un número de esferas según la Tabla N° 13 y la gradación de la muestra según lo establecido en la Tabla N° 14.

**Tabla 14. Especificaciones de la Carga**

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Fuente: NTE INEN 860

**Tabla 15. Gradación de las muestras de ensayo**

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1250±25	----	----	----
25,0	19,0	1250±25	----	----	----
19,0	12,5	1250±10	2500±10	----	----
12,5	9,5	1250±10	2500±10	----	----
9,5	6,3	----	----	2500±10	----
6,3	4,75	----	----	2500±10	----
4,75	2,36	----	----	----	5000±10
	Total	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: NTE INEN 860

Para la realización del ensayo la muestra de agregados debe estar estrictamente lavada y secada al horno a una temperatura constante y combinada de acuerdo a una de las granulometrías de la Tabla N° 14.

Es así que según el tipo de gradación óptima se coloca la muestra y el número de esferas correspondientes en la Máquina de los Ángeles para hacerlas girar a una velocidad recurrente entre 188 y 208 rad/mi o lo que corresponde a 30 y 33 rpm con un total de 500 vueltas.

Al momento que termine de girar el número de vueltas indicado se procederá a retirar el material de la máquina para luego ser tamizado por el tamiz N.º12, posteriormente se pesa para los respectivos cálculos. El desgaste máximo permisible es del 40%.



$$D = \left( \frac{A}{A - B} \right) * 100$$

Donde:

A corresponde a la masa de la muestra antes del ensayo

B corresponde a la masa de la muestra retenida en el tamiz Nº12

**Tabla 16. Desgaste por Abrasión**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 		
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."	
<b>ENSAYO:</b>	<b>RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN</b>	
	<b>NORMATIVA: NTE INEN 860</b>	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Peso Muestra:</b> 5000 gr
<b>Fecha:</b>	Ago-22	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>		
	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Masa de la Muestra a ensayar	gr	<b>5000</b>
Masa Desgastada	gr	3874.00
Masa perdida por Desgaste	gr	1126.00
Desgaste del Agregado	%	22.52
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
El desgaste del agregado obtenido en laboratorio es de 22.52 %		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla	

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**



### 3.1.6. Dosificación de los agregados de las briquetas

Se realizaron briquetas con los siguientes porcentajes para sus dosificaciones teniendo en cuenta el porcentaje de emulsión asfáltica y PET para ser analizadas y ensayadas.

Por cada porcentaje de emulsión asfáltica se elaboran 3 briquetas.

#### 3.1.6.1. Dosificación briquetas sin polímero



**Tabla 17. Granulometría mezcla asfáltica en frío sin polímeros**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN							
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."						
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRANULOMETRÍA AGREGADOS</b>						
<b>NORMATIVA: NTE INEN 696</b>							
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>							
<b>Provincia:</b> Tungurahua		<b>Coordenada X:</b> 9862146.12 17 S					
<b>Cantón:</b> Ambato		<b>Coordenada Y:</b> 769283.625					
<b>Parroquia:</b> Izamba							
<b>Fecha:</b> Ago-22							
TAMIZ N°	PORCENTAJE PASA	GRANULOMETRÍA DISEÑO	PORCENTAJE RETENIDO	14% (gr)	16% (gr)	18% (gr)	20% (gr)
1"	100	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	85-100	87	13	150.16	145.81	143.32	141.47
1/2"	55-70	55	32	490.45	482.42	475.71	467.12
#4	10-25	12	43	232.18	223.39	224.15	214.48
#8	5-10	5	7	111.12	109.38	101.12	100.45
#200	0-4		5	48.09	47.00	39.70	36.48
Asfalto				168.00	192.00	216.00	240.00
PET				0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>				<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>			
Shumacher Gavilanes				Ing. Favio Portilla			

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

### 3.1.6.2. Dosificación briquetas con 3% de PET (Tereftalato de polietileno)

**Tabla 18. Granulometría mezcla asfáltica en frío 3% PET**



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 							
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."						
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRANULOMETRÍA AGREGADOS 3% PET</b>						
<b>NORMATIVA: NTE INEN 696</b>							
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>							
<b>Provincia:</b>	Tungurahua						
<b>Cantón:</b>	Ambato						
<b>Parroquia:</b>	Izamba						
<b>Fecha:</b>	Ago-22						
<b>Coordenada X:</b>	9862146.12 17 S						
<b>Coordenada Y:</b>	769283.625						
TAMIZ N°	PORCENTAJE PASA	GRANULOMETRÍA DISEÑO	PORCENTAJE RETENIDO	14% (gr)	16% (gr)	18% (gr)	20% (gr)
1"	100	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	85-100	87	13	143.06	142.15	139.17	137.47
1/2"	55-70	55	32	487.26	471.17	463.08	456.10
#4	10-25	12	43	221.16	219.07	214.04	204.84
#8	5-10	5	7	106.38	103.25	100.34	99.25
#200	0-4		5	38.14	36.36	31.37	26.34
Asfalto				168.00	192.00	216.00	240.00
PET				36.00	36.00	36.00	36.00
<b>TOTAL</b>				<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>			
Shumacher Gavilanes				Ing. Favio Portilla			

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**



### 3.1.6.3. Dosificación briquetas con 6% de PET (Tereftalato de polietileno)



**Tabla 19. Granulometría mezcla asfáltica en frío 6% PET**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN							
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."						
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRANULOMETRÍA AGREGADOS 6% PET</b>						
<b>NORMATIVA: NTE INEN 696</b>							
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>							
<b>Provincia:</b> Tungurahua		<b>Coordenada X:</b> 9862146.12 17 S					
<b>Cantón:</b> Ambato		<b>Coordenada Y:</b> 769283.625					
<b>Parroquia:</b> Izamba							
<b>Fecha:</b> Ago-22							
TAMIZ N°	PORCENTAJE PASA	GRANULOMETRÍA DISEÑO	PORCENTAJE RETENIDO	14% (gr)	16% (gr)	18% (gr)	20% (gr)
1"	100	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	85-100	87	13	140.14	136.11	132.24	128.13
1/2"	55-70	55	32	475.49	466.12	457.45	447.03
#4	10-25	12	43	207.15	202.09	196.26	190.25
#8	5-10	5	7	103.04	100.31	96.44	94.25
#200	0-4		5	34.18	31.37	29.61	28.34
Asfalto				168.00	192.00	216.00	240.00
PET				72.00	72.00	72.00	72.00
<b>TOTAL</b>				<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>			
Shumacher Gavilanes				Ing. Favio Portilla			

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### 3.1.6.4. Dosificación briquetas con 9% de PET (Tereftalato de polietileno)



**Tabla 20. Granulometría mezcla asfáltica en frío 9% PET**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN							
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."						
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRANULOMETRÍA AGREGADOS 9% PET</b>						
<b>NORMATIVA: NTE INEN 696</b>							
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>							
<b>Provincia:</b> Tungurahua		<b>Coordenada X:</b> 9862146.12 17 S					
<b>Cantón:</b> Ambato		<b>Coordenada Y:</b> 769283.625					
<b>Parroquia:</b> Izamba							
<b>Fecha:</b> Ago-22							
TAMIZ N°	PORCENTAJE PASA	GRANULOMETRÍA DISEÑO	PORCENTAJE RETENIDO	14% (gr)	16% (gr)	18% (gr)	20% (gr)
1"	100	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	85-100	87	13	137.01	134.08	131.02	127.27
1/2"	55-70	55	32	462.08	454.27	446.15	431.69
#4	10-25	12	43	194.41	190.32	185.86	180.64
#8	5-10	5	7	97.38	91.32	86.67	86.25
#200	0-4		5	33.12	30.01	26.30	26.15
Asfalto				168.00	192.00	216.00	240.00
PET				108.00	108.00	108.00	108.00
<b>TOTAL</b>				<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>			
Shumacher Gavilanes				Ing. Favio Portilla			

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

### 3.1.6.5. Dosificación briquetas con 12% de PET (Tereftalato de polietileno)



**Tabla 21. Granulometría mezcla asfáltica en frío 12% PET**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN							
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."						
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRANULOMETRÍA AGREGADOS 12% PET</b>						
<b>NORMATIVA: NTE INEN 696</b>							
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>							
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.12 17 S				
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.625				
<b>Parroquia:</b>	Izamba						
<b>Fecha:</b>	Ago-22						
TAMIZ Nº	PORCENTAJE PASA	GRANULOMETRÍA DISEÑO	PORCENTAJE RETENIDO	14% (gr)	16% (gr)	18% (gr)	20% (gr)
1"	100	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	85-100	87	13	130.10	126.79	122.64	118.47
1/2"	55-70	55	32	449.06	438.05	431.22	424.38
#4	10-25	12	43	183.17	181.15	174.60	167.16
#8	5-10	5	7	95.54	91.01	88.35	84.18
#200	0-4		5	30.13	27.00	23.19	21.81
Asfalto				168.00	192.00	216.00	240.00
PET				144.00	144.00	144.00	144.00
<b>TOTAL</b>				<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>			
Shumacher Gavilanes				Ing. Favio Portilla			

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

### 3.1.6.6. Dosificación briquetas con 15% de PET (Tereftalato de polietileno)

**Tabla 22. Granulometría mezcla asfáltica en frío 15% PET**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN						
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."							
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRANULOMETRÍA AGREGADOS 15% PET</b>							
<b>NORMATIVA: NTE INEN 696</b>								
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>								
	<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.12 17 S				
	<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.625				
	<b>Parroquia:</b>	Izamba						
	<b>Fecha:</b>	Ago-22						
TAMIZ N°	PORCENTAJE PASA	GRANULOMETRÍA DISEÑO	PORCENTAJE RETENIDO	14% (gr)	16% (gr)	18% (gr)	20% (gr)	
1"	100	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00	
3/4"	85-100	87	13	124.15	121.78	117.78	111.14	
1/2"	55-70	55	32	437.14	430.17	423.96	417.32	
#4	10-25	12	43	175.15	167.72	160.72	153.83	
#8	5-10	5	7	88.47	84.16	80.37	78.34	
#200	0-4		5	27.09	24.17	21.17	19.37	
Asfalto				168.00	192.00	216.00	240.00	
PET				180.00	180.00	180.00	180.00	
<b>TOTAL</b>				<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	<b>1200.00</b>	
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>				
Shumacher Gavilanes				Ing. Favio Portilla				

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

### 3.1.7. Ensayos Rice

#### 3.1.7.1. Ensayo Rice mezcla asfáltica sin polímero



El objetivo principal de este ensayo es determinar la gravedad y densidad máxima teórica de las mezclas asfálticas tanto calientes como frías no compactadas a una temperatura de 25° y para lo cual se lo realiza para cada porcentaje de asfalto en esta presente investigación.

Como primer punto se debe dejar enfriar la muestra a temperatura ambiente, posteriormente se pesa el recipiente vacío (recipiente de cristal) para después insertar la muestra en su interior y luego pesar su volumen, una vez realizado se coloca agua suficiente para cubrir la muestra hasta al tope del recipiente evitando que se acumule ninguna cantidad de burbujas de aire.

Al tener el recipiente, este se ubica dentro del conjunto en la máquina de vacíos para posteriormente extraer el aire, se dejará alrededor de 15 minutos.



Para finalmente tomar el peso y proceder a calcular la densidad máxima teórica de cada muestra.

**Tabla 23. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica sin PET**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA	
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
			
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."		
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>		
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	14%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	0%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso recipiente + agua a 25°C		gr	2896.9
Peso recipiente		gr	1135.2
Peso muestra + recipiente		gr	2241.2
Peso muestra		gr	1106
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C		gr	3561
Gravedad específica teórica máxima			2.503



Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 24. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica sin PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>		
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	16%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	0%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9	
Peso recipiente	gr	1135.2	
Peso muestra + recipiente	gr	2197.5	
Peso muestra	gr	1062.3	
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3533.2	
Gravedad específica teórica máxima		2.494	

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 25. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica sin PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b> 18%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b> 0%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b> 19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	2351.2
Peso muestra	gr	1216
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3621.9
Gravedad específica teórica máxima		2.477

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**Tabla 26. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica sin PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b> 20%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b> 0%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b> 19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	2334.8
Peso muestra	gr	1199.6
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3610.5
Gravedad específica teórica máxima		2.468

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**3.1.7.2. Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3% de PET (Tereftalato de Polietileno)**



**Tabla 27. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 3% PET**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b> 14%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b> 3%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b> 19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	2055.3
Peso muestra	gr	920.1
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3437
Gravedad específica teórica máxima		2.421

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor





**Tabla 28. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 3% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 																		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”																	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>																	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041																	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>	<table border="0"> <tr> <td><b>Provincia:</b></td> <td>Tungurahua</td> <td><b>Porcentaje de asfalto</b></td> <td>16%</td> </tr> <tr> <td><b>Cantón:</b></td> <td>Ambato</td> <td><b>Porcentaje de PET</b></td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td><b>Parroquia:</b></td> <td>Izamba</td> <td><b>Fecha:</b></td> <td>19/08/2022</td> </tr> <tr> <td><b>Origen:</b></td> <td colspan="3">Cantera las Viñas</td> </tr> </table>		<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	16%	<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	3%	<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022	<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	16%															
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	3%															
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022															
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas																	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>															
	Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9															
	Peso recipiente	gr	1135.2															
	Peso muestra + recipiente	gr	2043.4															
	Peso muestra	gr	908.2															
	Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3445.1															
	Gravedad específica teórica máxima		2.523															



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 29. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 3% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 																		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”																	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>																	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041																	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>	<table border="0"> <tr> <td><b>Provincia:</b></td> <td>Tungurahua</td> <td><b>Porcentaje de asfalto</b></td> <td>18%</td> </tr> <tr> <td><b>Cantón:</b></td> <td>Ambato</td> <td><b>Porcentaje de PET</b></td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td><b>Parroquia:</b></td> <td>Izamba</td> <td><b>Fecha:</b></td> <td>19/08/2022</td> </tr> <tr> <td><b>Origen:</b></td> <td colspan="3">Cantera las Viñas</td> </tr> </table>		<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	18%	<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	3%	<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022	<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	18%															
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	3%															
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022															
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas																	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>															
	Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9															
	Peso recipiente	gr	1135.2															
	Peso muestra + recipiente	gr	1996.5															
	Peso muestra	gr	861.3															
	Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3408.2															
	Gravedad específica teórica máxima		2.461															

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**Tabla 30. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 3% PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
<b>TEMA:</b> "Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."			
<b>ENSAYO:</b> DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)			
<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	20%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	3%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9	
Peso recipiente	gr	1135.2	
Peso muestra + recipiente	gr	2067.4	
Peso muestra	gr	932.2	
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3459.1	
Gravedad específica teórica máxima		2.519	

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**3.1.7.3. Ensayo Rice mezcla asfáltica con 6% de PET (Tereftalato de Polietileno)**

**Tabla 31. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 6% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 																		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”																	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>																	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041																	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>	<table border="0"> <tr> <td><b>Provincia:</b></td> <td>Tungurahua</td> <td><b>Porcentaje de asfalto</b></td> <td>14%</td> </tr> <tr> <td><b>Cantón:</b></td> <td>Ambato</td> <td><b>Porcentaje de PET</b></td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td><b>Parroquia:</b></td> <td>Izamba</td> <td><b>Fecha:</b></td> <td>19/08/2022</td> </tr> <tr> <td><b>Origen:</b></td> <td colspan="3">Cantera las Viñas</td> </tr> </table>		<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	14%	<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	6%	<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022	<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	14%															
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	6%															
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022															
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas																	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>															
	Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9															
	Peso recipiente	gr	1135.2															
	Peso muestra + recipiente	gr	2018.5															
	Peso muestra	gr	883.3															
	Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3430.2															
	Gravedad específica teórica máxima		2.524															



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 32. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 6% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 																		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”																	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>																	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041																	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>	<table border="0"> <tr> <td><b>Provincia:</b></td> <td>Tungurahua</td> <td><b>Porcentaje de asfalto</b></td> <td>16%</td> </tr> <tr> <td><b>Cantón:</b></td> <td>Ambato</td> <td><b>Porcentaje de PET</b></td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td><b>Parroquia:</b></td> <td>Izamba</td> <td><b>Fecha:</b></td> <td>19/08/2022</td> </tr> <tr> <td><b>Origen:</b></td> <td colspan="3">Cantera las Viñas</td> </tr> </table>		<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	16%	<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	6%	<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022	<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	16%															
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	6%															
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022															
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas																	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>															
	Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9															
	Peso recipiente	gr	1135.2															
	Peso muestra + recipiente	gr	1984.8															
	Peso muestra	gr	849.6															
	Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3401.5															
	Gravedad específica teórica máxima		2.463															



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 33. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 6% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua <b>Porcentaje de asfalto</b> 18%	
<b>Cantón:</b>	Ambato <b>Porcentaje de PET</b> 6%	
<b>Parroquia:</b>	Izamba <b>Fecha:</b> 19/08/2022	
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
Peso recipiente + agua a 25°C	UNIDAD	VALOR
	gr	2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	2046.2
Peso muestra	gr	911
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3447.9
Gravedad específica teórica máxima		2.531

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**Tabla 34. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 6% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua <b>Porcentaje de asfalto</b> 20%	
<b>Cantón:</b>	Ambato <b>Porcentaje de PET</b> 6%	
<b>Parroquia:</b>	Izamba <b>Fecha:</b> 19/08/2022	
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
Peso recipiente + agua a 25°C	UNIDAD	VALOR
	gr	2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	2052.6
Peso muestra	gr	917.4
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3454.3
Gravedad específica teórica máxima		2.548

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**3.1.7.4. Ensayo Rice mezcla asfáltica con 9% de PET (Tereftalato de Polietileno)**

**Tabla 35. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 9% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b> 14%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b> 9%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b> 19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
	Peso recipiente + agua a 25°C	gr
	Peso recipiente	gr
	Peso muestra + recipiente	gr
	Peso muestra	gr
	Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr
	Gravedad específica teórica máxima	2.483
		<b>VALOR</b>



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 36. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 9% PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>		
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	16%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	9%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
	Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9
	Peso recipiente	gr	1135.2
	Peso muestra + recipiente	gr	2016.2
	Peso muestra	gr	881
	Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3427.9
	Gravedad específica teórica máxima		2.517



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 37. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 9% PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>		
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	18%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	9%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
	Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9
	Peso recipiente	gr	1135.2
	Peso muestra + recipiente	gr	1999.5
	Peso muestra	gr	864.3
	Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3411.2
	Gravedad específica teórica máxima		2.469

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor


**Tabla 38. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 9% PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
<b>TEMA:</b> “Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”			
<b>ENSAYO:</b> DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)			
<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	20%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	9%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9	
Peso recipiente	gr	1135.2	
Peso muestra + recipiente	gr	2055.6	
Peso muestra	gr	920.4	
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3452.3	
Gravedad específica teórica máxima		2.522	

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**3.1.7.5. Ensayo Rice mezcla asfáltica con 12% de PET (Tereftalato de Polietileno)**

**Tabla 39. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 12% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua <b>Porcentaje de asfalto</b> 14%	
<b>Cantón:</b>	Ambato <b>Porcentaje de PET</b> 12%	
<b>Parroquia:</b>	Izamba <b>Fecha:</b> 19/08/2022	
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	1896.7
Peso muestra	gr	761.5
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3348.4
Gravedad específica teórica máxima		2.456

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**Tabla 40. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 12% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua <b>Porcentaje de asfalto</b> 16%	
<b>Cantón:</b>	Ambato <b>Porcentaje de PET</b> 12%	
<b>Parroquia:</b>	Izamba <b>Fecha:</b> 19/08/2022	
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	1945.7
Peso muestra	gr	810.5
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3382.4
Gravedad específica teórica máxima		2.494

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor





**Tabla 41. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 12% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua <b>Porcentaje de asfalto</b> 18%	
<b>Cantón:</b>	Ambato <b>Porcentaje de PET</b> 12%	
<b>Parroquia:</b>	Izamba <b>Fecha:</b> 19/08/2022	
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
Peso recipiente + agua a 25°C	<b>UNIDAD</b> gr	<b>VALOR</b> 2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	1972.8
Peso muestra	gr	837.6
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3394.5
Gravedad específica teórica máxima		2.464

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**Tabla 42. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 12% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua <b>Porcentaje de asfalto</b> 20%	
<b>Cantón:</b>	Ambato <b>Porcentaje de PET</b> 12%	
<b>Parroquia:</b>	Izamba <b>Fecha:</b> 19/08/2022	
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
Peso recipiente + agua a 25°C	<b>UNIDAD</b> gr	<b>VALOR</b> 2896.9
Peso recipiente	gr	1135.2
Peso muestra + recipiente	gr	2009.2
Peso muestra	gr	874
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3424.9
Gravedad específica teórica máxima		2.526

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



**3.1.7.6. Ensayo Rice mezcla asfáltica con 15% de PET (Tereftalato de Polietileno)**

**Tabla 43. Ensayo Rice 14% de emulsión asfáltica + 15% PET**

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</p> 		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b> 14%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b> 15%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b> 19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
	Peso recipiente + agua a 25°C	gr
	Peso recipiente	gr
	Peso muestra + recipiente	gr
	Peso muestra	gr
	Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr
	Gravedad específica teórica máxima	2.521



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 44. Ensayo Rice 16% de emulsión asfáltica + 15% PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
	<b>TEMA:</b> “Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>		<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	16%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	15%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Peso recipiente + agua a 25°C		gr	2896.9
Peso recipiente		gr	1135.2
Peso muestra + recipiente		gr	1916.8
Peso muestra		gr	781.6
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C		gr	3363.5
Gravedad específica teórica máxima			2.481



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 45. Ensayo Rice 18% de emulsión asfáltica + 15% PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
	<b>TEMA:</b> “Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>		<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>	
<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041			
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	18%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	15%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Peso recipiente + agua a 25°C		gr	2896.9
Peso recipiente		gr	1135.2
Peso muestra + recipiente		gr	1975.2
Peso muestra		gr	840
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C		gr	3396.9
Gravedad específica teórica máxima			2.471

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 46. Ensayo Rice 20% de emulsión asfáltica + 15% PET**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>	<b>DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)</b>		
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D 2041		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Porcentaje de asfalto</b>	20%
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Porcentaje de PET</b>	15%
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Fecha:</b>	19/08/2022
<b>Origen:</b>	Cantera las Viñas		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
Peso recipiente + agua a 25°C	gr	2896.9	
Peso recipiente	gr	1135.2	
Peso muestra + recipiente	gr	1896	
Peso muestra	gr	760.8	
Peso muestra + recipiente + agua a 25 °C	gr	3347.7	
Gravedad específica teórica máxima		2.454	

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



### **3.1.8. Ensayo Marshall**

Una vez que se hayan realizado todas las briquetas (20 briquetas sin la adición de PET/PE/PP y 80 con la adición del polímero graduando en 3%, 6%, 9%, 12% y 15%) se toman sus pesos tanto seco en aire, sumergida en agua y saturada para los cálculos de densidades.

Se deja en baño María a 30 °C (Para mezclas asfálticas en frío) durante 30 minutos las probetas para luego ser ensayadas en la máquina Marshall y obtener cada valor de estabilidad y flujo.

#### **3.1.8.1. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas sin polímero**

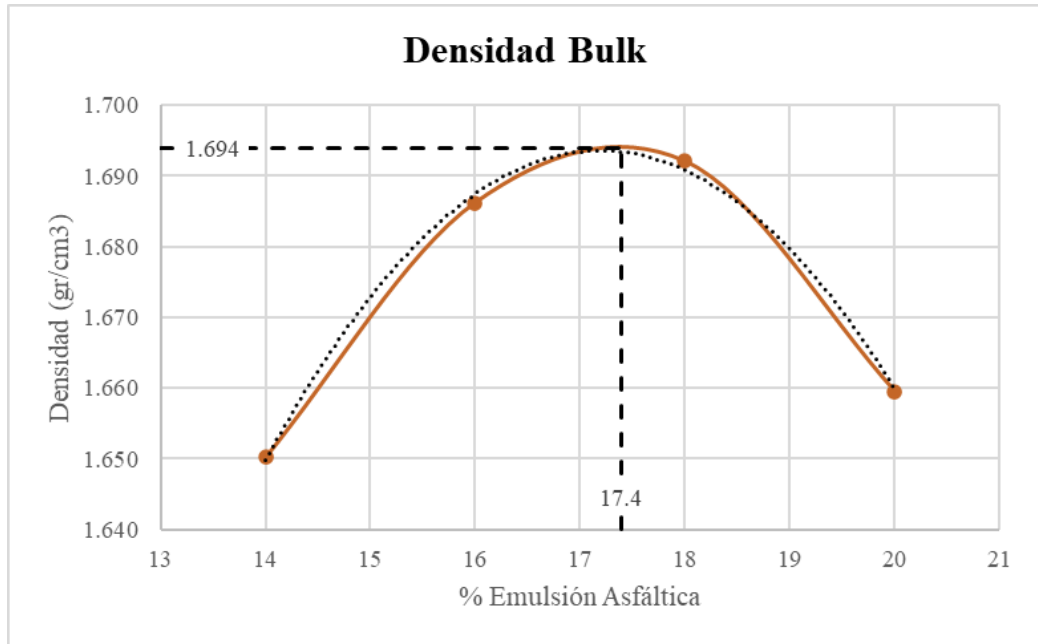
**Tabla 47. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas sin polímero**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 																				
TEMA:		"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."																		
ENSAYO:		ENSAYO MARSHALL - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO																		
NORMATIVA:		ASTM D 1559 y AASHTO T 225																		
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO		2.479 gr/cm <sup>3</sup>			GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL ASFALTO				1.025 gr/cm <sup>3</sup>			FECHA			SEPTIEMBRE - 2022					
MUESTRA N°	EMULSIÓN ASFÁLTICA %	PESO DE LA MUESTRA EN GRAMOS			VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup>			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES (VAM)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO %	ASFALTO EFECTIVO %	ESPESOR (mm)	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
		SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA		BULK	MÁXIMA TEÓRICA	MÁXIMA MEDIDA		AGREGADOS	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO					LECTUR A DIAL	FACTORE DE CORRECCIÓN	ESTABILIDA D CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V
					$D - E$	$G = \frac{C}{F}$			$\frac{(I - H) 100}{I * H(100 - B)}$	$\frac{(100 - B) G}{G. Agreg.}$	$\frac{(I - G)}{I * 100}$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{N - 1}{N * 100}$	$\frac{B - (J(100 - B))}{100}$				$S * T$	
1	14	1131.2	1158.7	489.42	669.28	1.690										69.20	2969	0.873	2592	41
2		1097.1	1114.4	435.71	678.69	1.616										71.20	2879	0.836	2407	39
3		1101.8	1145.9	475.65	670.25	1.644										70.30	2915	0.853	2486	42
<b>Promedio</b>						<b>1.650</b>	2.069	2.503	0.974	57.237	19.574	23.188	42.763	54.226	13.162				<b>2495</b>	<b>41</b>
1	16	1285.6	1315.7	516.45	799.25	1.609										72.80	2143	0.814	1744	50
2		1232.1	1248.6	507.43	741.17	1.662										71.30	2089	0.834	1742	31
3		1285.3	1304.1	585.17	718.93	1.788										70.60	2193	0.847	1857	48
<b>Promedio</b>						<b>1.686</b>	2.021	2.494	1.116	57.128	9.549	33.324	42.872	77.728	15.063				<b>1781</b>	<b>43</b>
1	18	1239.7	1253.3	519.75	733.55	1.690										72.50	4193	0.818	3430	55
2		1189.1	1201.5	503.1	698.4	1.703										71.60	3481	0.829	2886	47
3		1209.4	1229.8	511.45	718.35	1.684										72.80	3769	0.914	3445	38
<b>Promedio</b>						<b>1.692</b>	1.976	2.477	1.249	55.960	13.767	30.272	44.040	68.739	16.976				<b>3253</b>	<b>47</b>
1	20	1073.2	1092.4	454.12	638.28	1.681										71.90	1668	0.825	1376	65
2		1094.5	1104.4	438.12	666.28	1.643										70.60	1843	0.846	1559	51
3		1062.8	1087.9	445.56	642.34	1.655										68.70	1678	0.883	1482	46
<b>Promedio</b>						<b>1.660</b>	1.932	2.468	1.406	53.547	21.079	25.375	46.453	54.624	18.875				<b>1472</b>	<b>54</b>

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

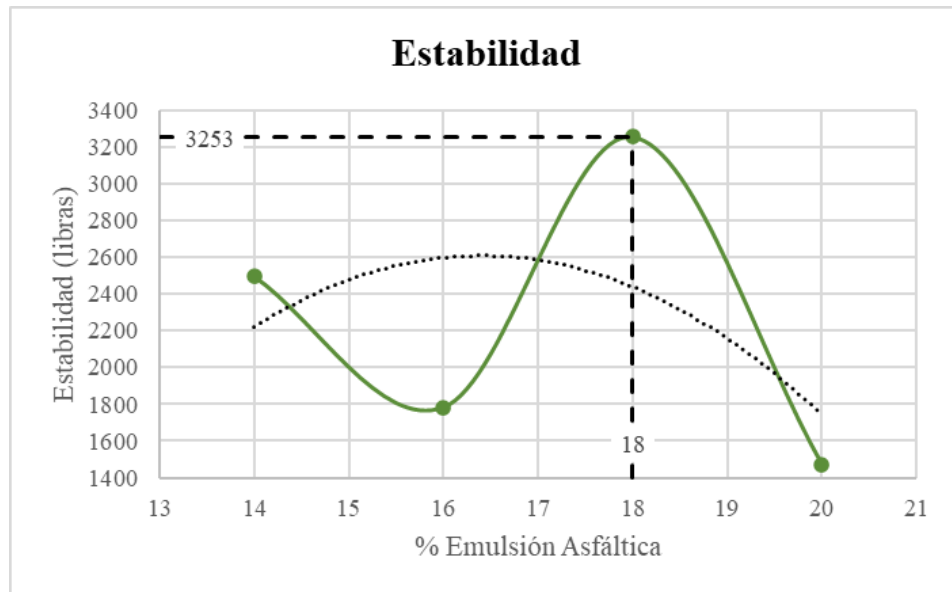
### 3.1.8.1.1. Curvas de diseño Marshall mezcla asfáltica convencional

Figura 27. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto



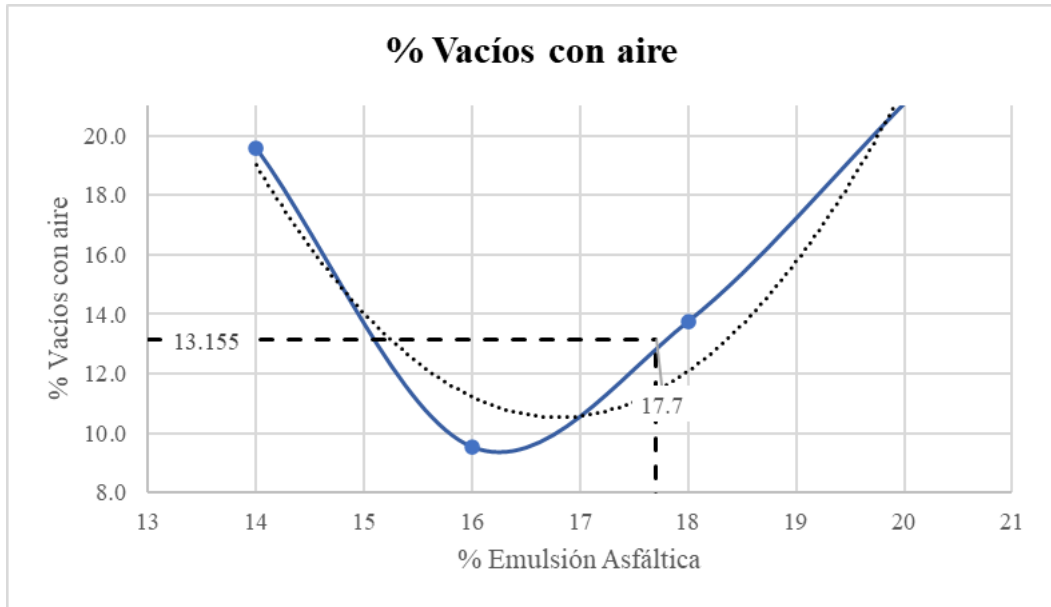
Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

Figura 28. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto



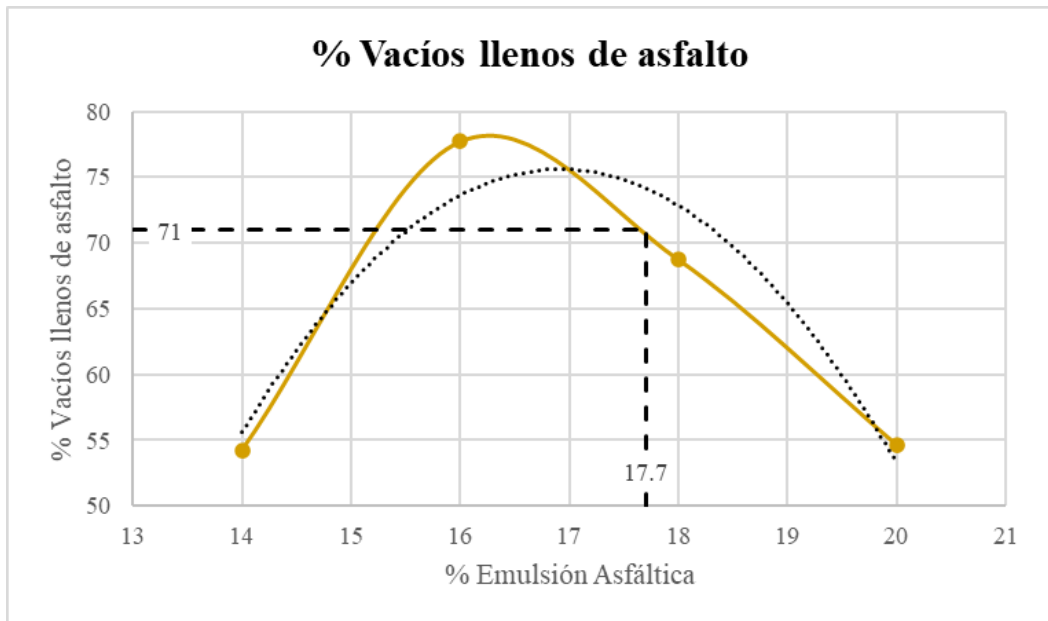
Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 29. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

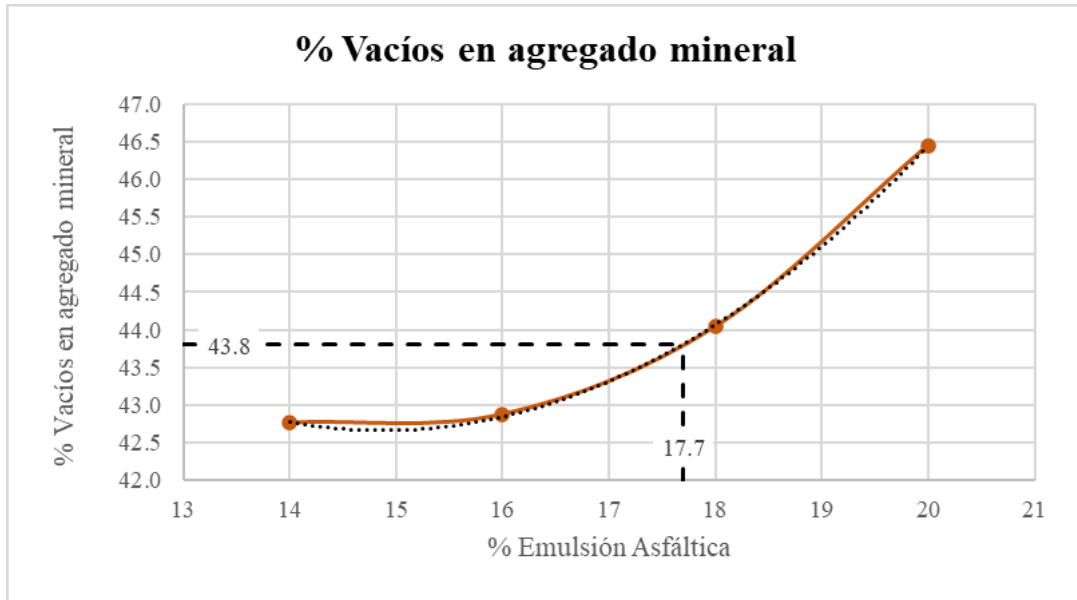
**Figura 30. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

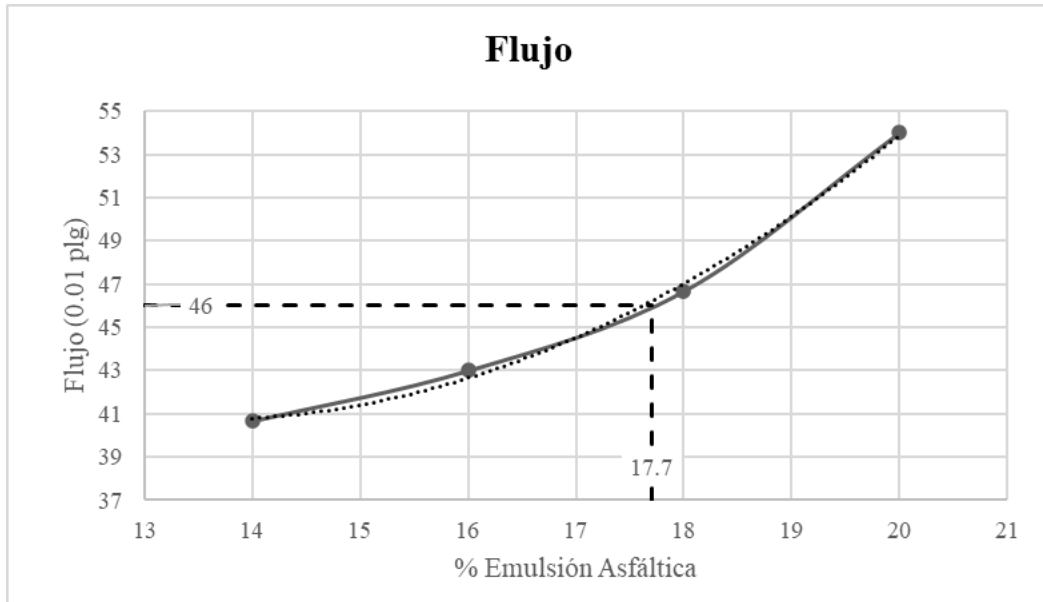


**Figura 31. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 32. Flujo vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



### 3.1.8.1.2. Análisis de los resultados

Mediante la representación gráfica, se analizaron los diferentes valores característicos que presentan las mezclas asfálticas, como son su densidad, estabilidad, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, porcentaje de vacíos con agregado mineral y flujo. Es así que con la ayuda de la tabulación y cálculo de una hoja de cálculo en Excel se cuantificaron esos valores y se procedió a graficarlos dando las siguientes interpretaciones:

- Para el cálculo del % de emulsión óptima se tomó como referencia la gráfica N° 27 y la gráfica N° 28 que corresponden a la densidad y estabilidad dando como valor de emulsión óptima del 17.7 %
- Para la relación de los vacíos con aire de la mezcla asfáltica se identificó que ésta decrece y aumenta con la adición de emulsión, tomando como punto de crecimiento entre el 16% al 18%, dando así que para el porcentaje óptimo se tiene una relación de vacíos con aire del 13.16 %.
- Para la relación de vacíos llenos de asfalto se identificó que aumenta y decrece mediante la adición de emulsión asfáltica, tomando como punto de declive entre los 16% y 18%, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene una relación de vacíos llenos de asfalto del 71%.
- Para la relación de vacíos en agregado mineral se identificó que ésta aumenta mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene un porcentaje de vacíos en agregado mineral del 43.8%.
- Para el flujo de las muestras ensayadas se analizó que, éstas aumentan con la adición de emulsión, donde el porcentaje óptimo del mismo se obtuvo un valor de 46 %, con los datos de flujo y estabilidad se estima que éstos pueden ser utilizado para pavimentos flexibles de tráfico pesado.

### 3.1.8.2. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 3% de PET (Tereftalato de Polietileno)

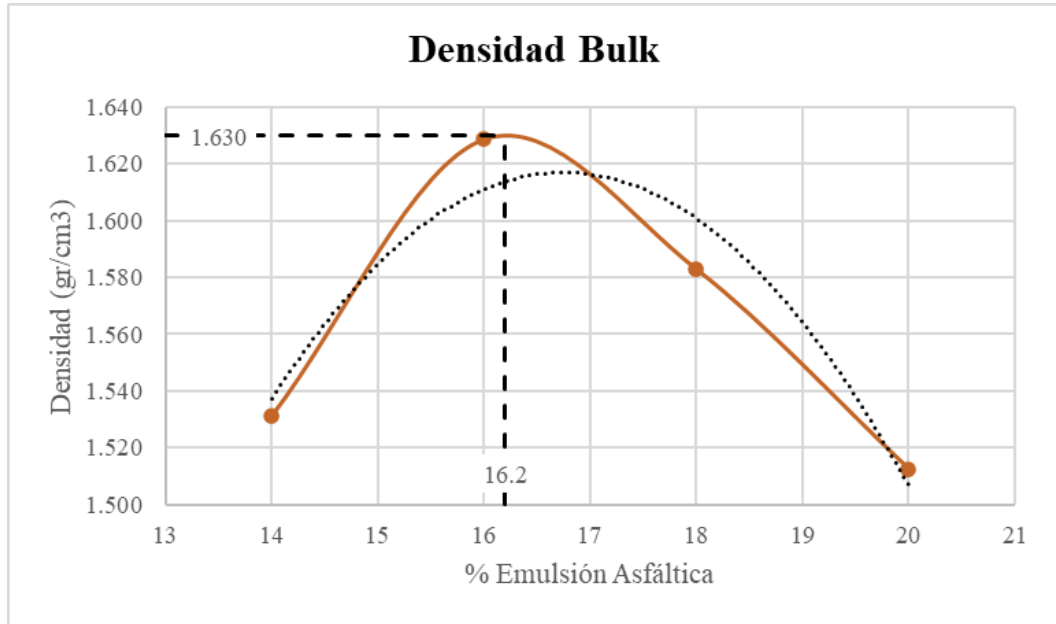
**Tabla 48. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 3% de PET**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 																							
TEMA:		"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."																					
ENSAYO:		ENSAYO MARSHALL - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO																					
NORMATIVA:		ASTM D 1559 y AASHTO T 225																					
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO					2.479 gr/cm <sup>3</sup>				GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL ASFALTO					1.025 gr/cm <sup>3</sup>			FECHA			SEPTIEMBRE - 2022			
MUESTRA N°	EMULSIÓN ASFÁLTICA %	PESO DE LA MUESTRA EN GRAMOS			VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup>			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES (VAM)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO %	ASFALTO EFECTIVO %	ESPESOR (mm)	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100			
		SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA		BULK	MÁXIMA TEÓRICA	MÁXIMA MEDIDA		AGREGADOS	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO					LECTUR A DIAL	FACTORE DE CORRECCIÓN	ESTABILIDA D CORREGIDA				
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V			
					$D - E$	$G = \frac{C}{F}$			$\frac{(I - H) 100}{I * H(100 - B)}$	$\frac{(100 - B) G}{G.Agreg.}$	$\frac{(I - G)}{I * 100}$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{N - 1}{N * 100}$	$\frac{B - (J(100 - B))}{100}$				$S * T$				
1	14	950.4	975.2	352.2	623.0	1.526										71.60	1669	0.829	1384	38			
2		921.2	939.1	337.1	602.0	1.530										72.80	1487	0.814	1210	29			
3		901.6	912.3	326.2	586.1	1.538										70.80	1874	0.843	1580	34			
<b>Promedio</b>						<b>1.531</b>	2.069	2.421	0.818	54.374	32.232	13.394	45.626	29.356	13.297				<b>1391</b>	<b>34</b>			
1	16	938.6	955.1	372.2	582.9	1.610										68.10	1854	0.895	1659	42			
2		895.4	911.2	354.7	556.5	1.609										69.20	1999	0.873	1745	35			
3		958.1	971.8	397.1	574.7	1.667										70.20	1748	0.854	1493	31			
<b>Promedio</b>						<b>1.629</b>	2.021	2.523	1.171	56.488	32.084	11.428	43.512	26.263	15.016				<b>1632</b>	<b>36</b>			
1	18	902.5	922.2	353.1	569.1	1.586										70.90	1650	0.841	1388	49			
2		925.3	941.21	355.8	585.4	1.581										71.40	1812	0.832	1508	52			
3		967.5	989.6	378.2	611.4	1.582										69.40	1752	0.869	1522	56			
<b>Promedio</b>						<b>1.583</b>	1.976	2.461	1.217	53.592	35.675	10.734	46.408	23.129	17.002				<b>1473</b>	<b>52</b>			
1	20	960.4	978.8	318.1	660.7	1.454										71.80	1777	0.826	1468	52			
2		905.4	924.6	357.1	567.5	1.595										69.90	1871	0.860	1609	54			
3		934.6	947.2	319.4	627.8	1.489										70.70	1921	0.845	1623	48			
<b>Promedio</b>						<b>1.513</b>	1.932	2.519	1.509	49.960	39.964	10.076	50.040	20.135	18.793				<b>1567</b>	<b>51</b>			

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

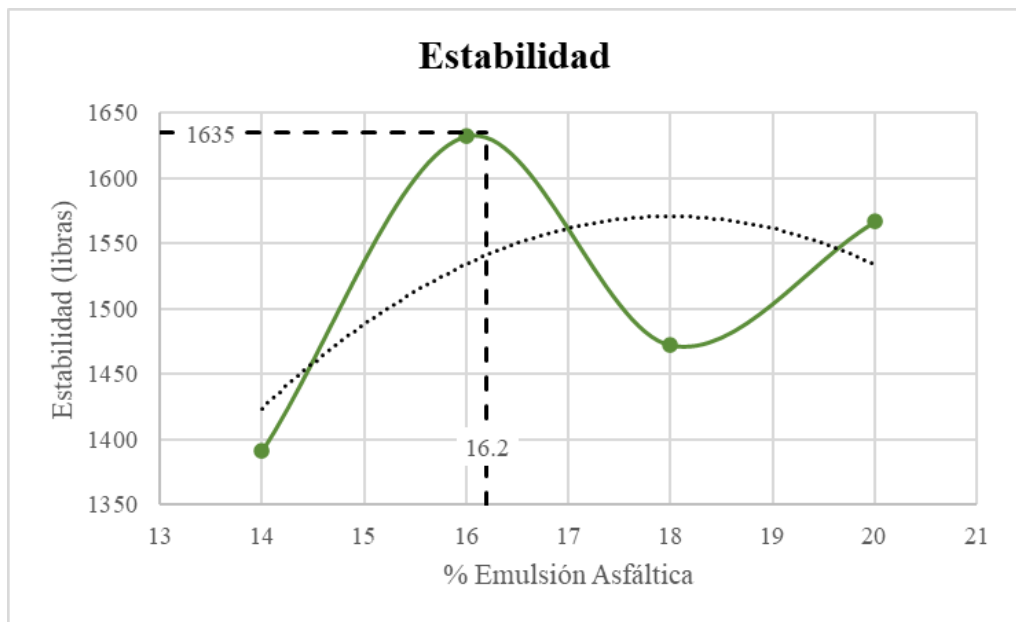
### 3.1.8.2.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 3% PET/PE/PP

**Figura 33. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto**



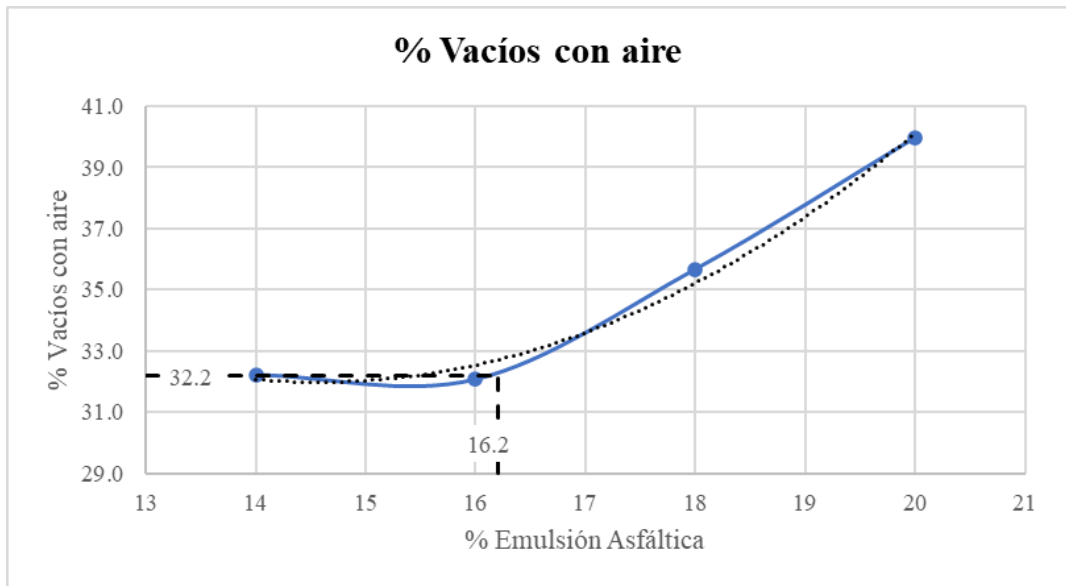
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 34. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto**



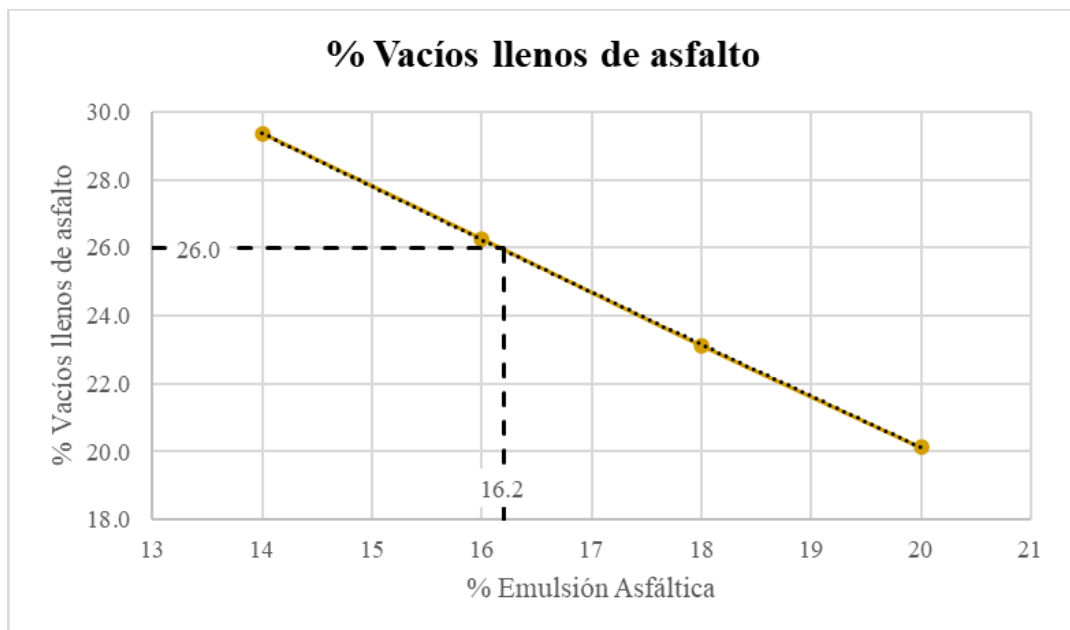
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 35. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto**



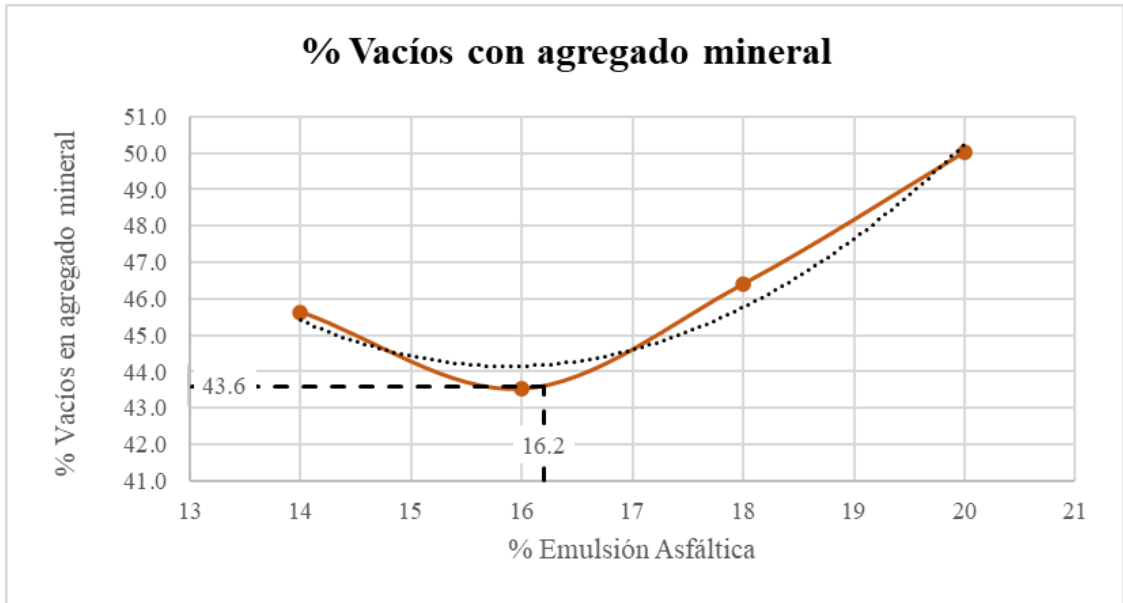
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 36. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto**



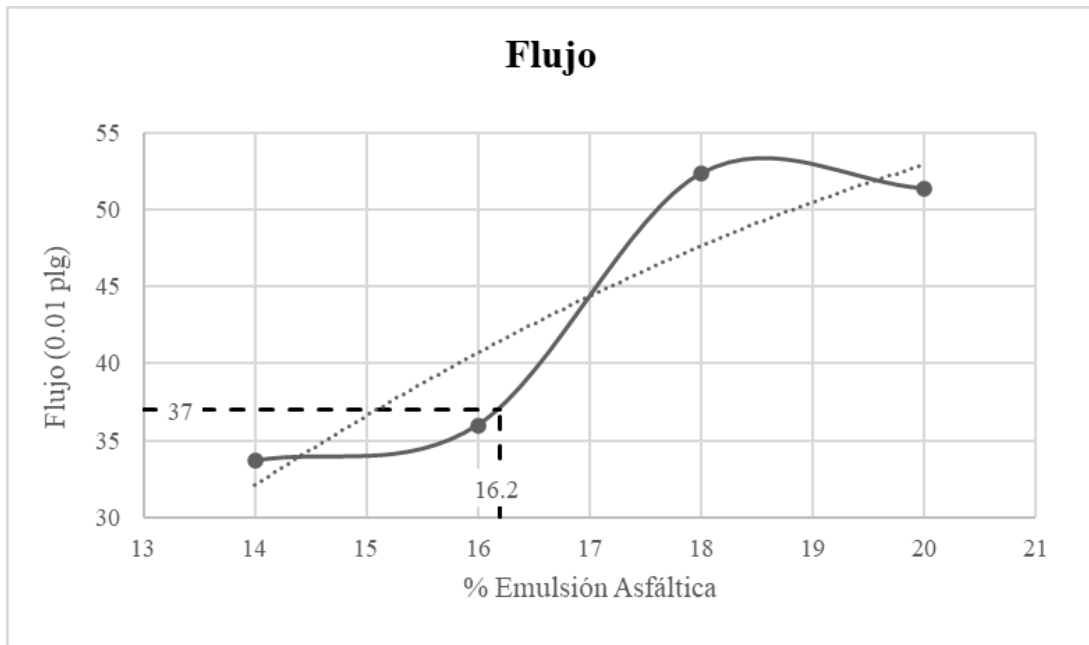
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 37. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 38. Flujo vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



### **3.1.8.2.2. Análisis de resultados mezcla asfáltica con 3% de PET/PE/PP**

Mediante la representación gráfica, se analizaron los diferentes valores característicos que presentan las mezclas asfálticas, como son su densidad, estabilidad, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, porcentaje de vacíos con agregado mineral y flujo. Es así que con la ayuda de la tabulación y cálculo de una hoja de cálculo en Excel se cuantificaron esos valores y se procedió a graficarlos dando las siguientes interpretaciones:

- Para el cálculo del % de emulsión óptima se tomó como referencia la gráfica N° 33 y la gráfica N° 34 que corresponden a la densidad y estabilidad dando como valor de emulsión óptima del 16.2 %
- Para la relación de los vacíos con aire de la mezcla asfáltica se identificó que ésta aumenta con la adición de emulsión, tomando como punto de crecimiento desde el 16%, dando así que para el porcentaje óptimo se tiene una relación de vacíos con aire del 32.2 %.
- Para la relación de vacíos llenos de asfalto se identificó que ésta decrece mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene una relación de vacíos llenos de asfalto del 26%.
- Para la relación de vacíos en agregado mineral se identificó que ésta decrece y aumenta mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión tenemos un porcentaje de vacíos en agregado mineral del 43.6%.
- Para el flujo de las muestras ensayadas se analizó que, éstas aumentan con la adición de emulsión, donde para el porcentaje óptimo del mismo se obtuvo un valor de 37 %, con los datos de flujo y estabilidad se estima que éstos pueden ser utilizado para pavimentos flexibles de tráfico medio.

### 3.1.8.3. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 6% de PET (Tereftalato de Polietileno)

**Tabla 49. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 6% de PET**

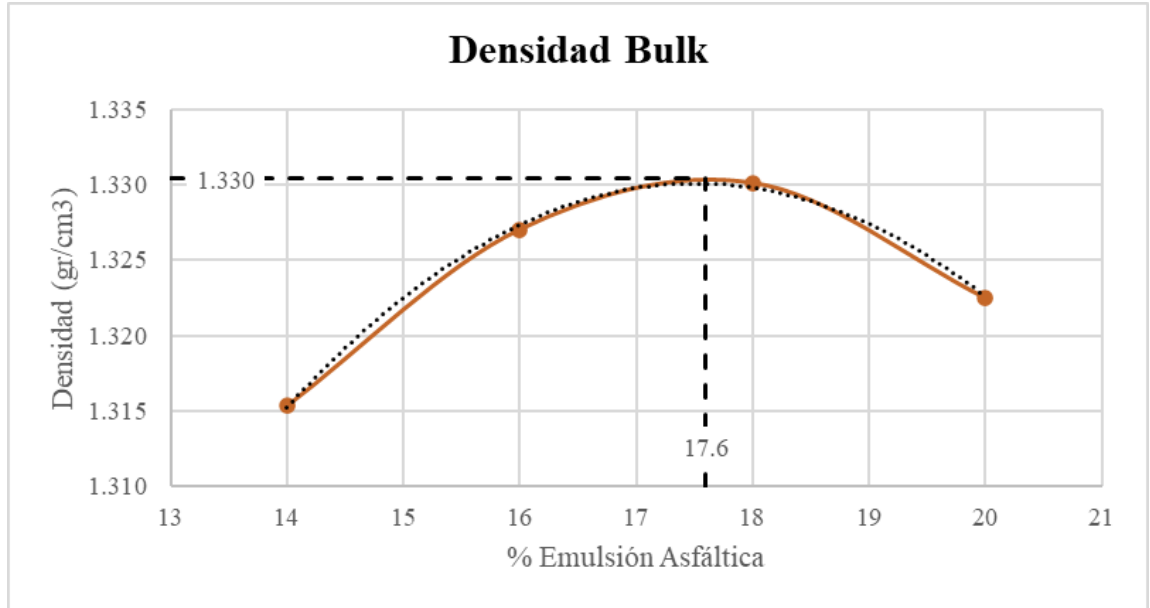
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN 																							
TEMA:		"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."																					
ENSAYO:		ENSAYO MARSHALL - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO																					
NORMATIVA:		ASTM D 1559 y AASHTO T 225																					
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO					2.479 gr/cm <sup>3</sup>				GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL ASFALTO				1.025 gr/cm <sup>3</sup>				FECHA			SEPTIEMBRE - 2022			
MUESTRA N°	EMULSIÓN ASFÁLTICA %	PESO DE LA MUESTRA EN GRAMOS			VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup>			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES (VAM)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO %	ASFALTO EFECTIVO %	ESPESOR (mm)	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100			
		SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA		BULK	MÁXIMA TEÓRICA	MÁXIMA MEDIDA		AGREGADOS	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO					LECTUR A DIAL	FACTORE DE CORRECCIÓN	ESTABILIDA D CORREGIDA				
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V			
					$D - E$	$G = \frac{C}{F}$			$\frac{(I - H)100}{I * H(100 - B)}$	$\frac{(100 - B)G}{G. Agreg.}$	$\frac{(I - G)}{I * 100}$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{N - 1}{N * 100}$	$\frac{B - (J(100 - B))}{100}$				$S * T$				
1	14	903.5	939.9	242.7	697.2	1.296										71.20	887	0.836	742	36			
2		968.1	989.2	251.4	737.80	1.312										68.40	967	0.888	859	33			
3		917.3	932.7	247.1	685.60	1.338										69.70	1156	0.864	999	31			
<b>Promedio</b>						<b>1.315</b>	2.069	2.524	1.013	46.703	47.881	5.415	55.297	10.410	13.129				<b>866</b>	<b>33</b>			
1	16	879.8	912.2	254.4	657.8	1.337										70.40	1812	0.851	1542	31			
2		974.2	985.2	249.5	735.7	1.324										71.80	1970	0.826	1627	39			
3		893.5	916.6	239.4	677.2	1.319										71.30	1986	0.834	1656	29			
<b>Promedio</b>						<b>1.327</b>	2.021	2.463	1.056	46.023	46.113	7.864	53.977	14.569	15.113				<b>1609</b>	<b>33</b>			
1	18	940.5	971.7	240.8	730.9	1.287										69.10	1206	0.875	1055	38			
2		905.1	924.9	262.7	662.2	1.367										68.70	989	0.883	873	34			
3		961.8	977.4	257.9	719.5	1.337										68.30	1156	0.890	1029	42			
<b>Promedio</b>						<b>1.330</b>	1.976	2.531	1.354	45.032	47.438	7.531	54.968	13.700	16.890				<b>986</b>	<b>38</b>			
1	20	947.9	977.5	245.95	731.55	1.296										66.30	915	0.938	858	42			
2		919.6	934.3	254.1	680.2	1.352										68.80	1145	0.881	1009	34			
3		972.4	991.1	254.3	736.8	1.320										67.40	978	0.913	893	31			
<b>Promedio</b>						<b>1.322</b>	1.932	2.548	1.565	43.681	48.104	8.215	56.319	14.586	18.748				<b>920</b>	<b>36</b>			

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



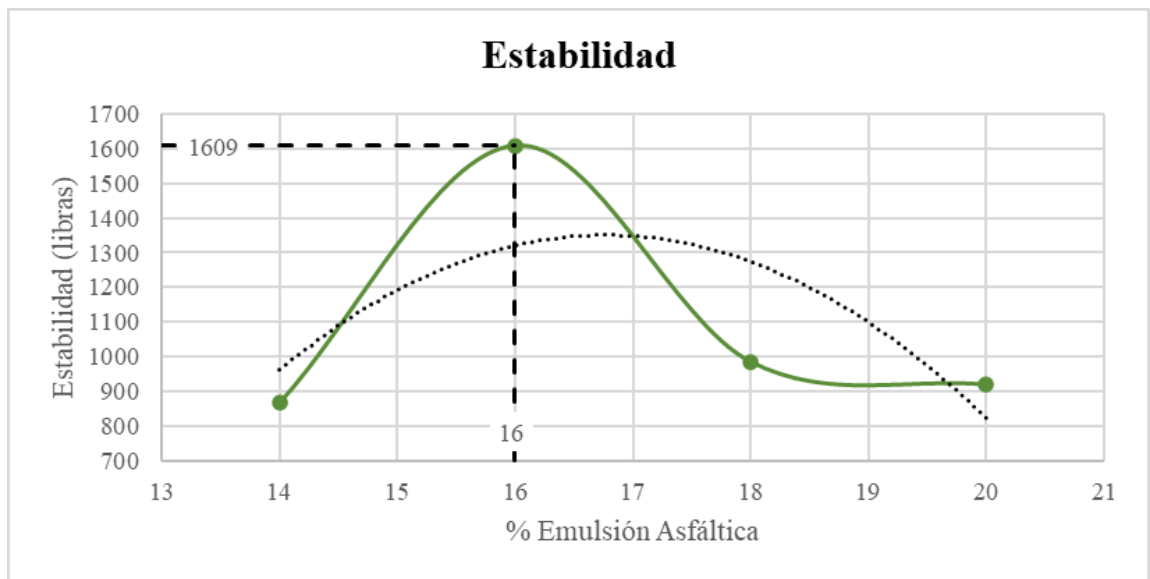
**3.1.8.3.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 6% PET/PE/PP**

**Figura 39. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto**



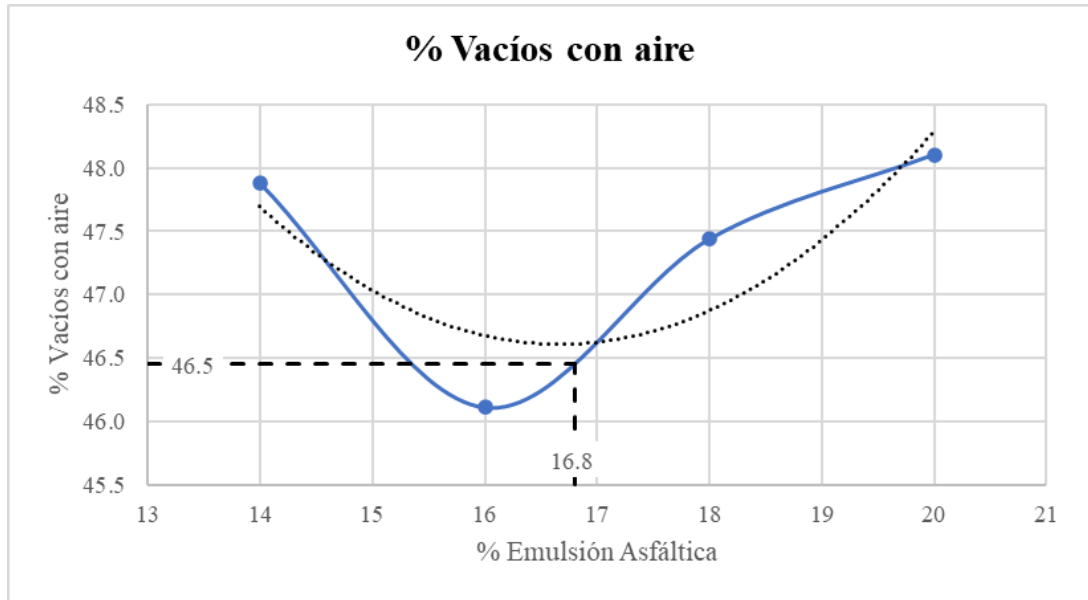
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 40. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto**



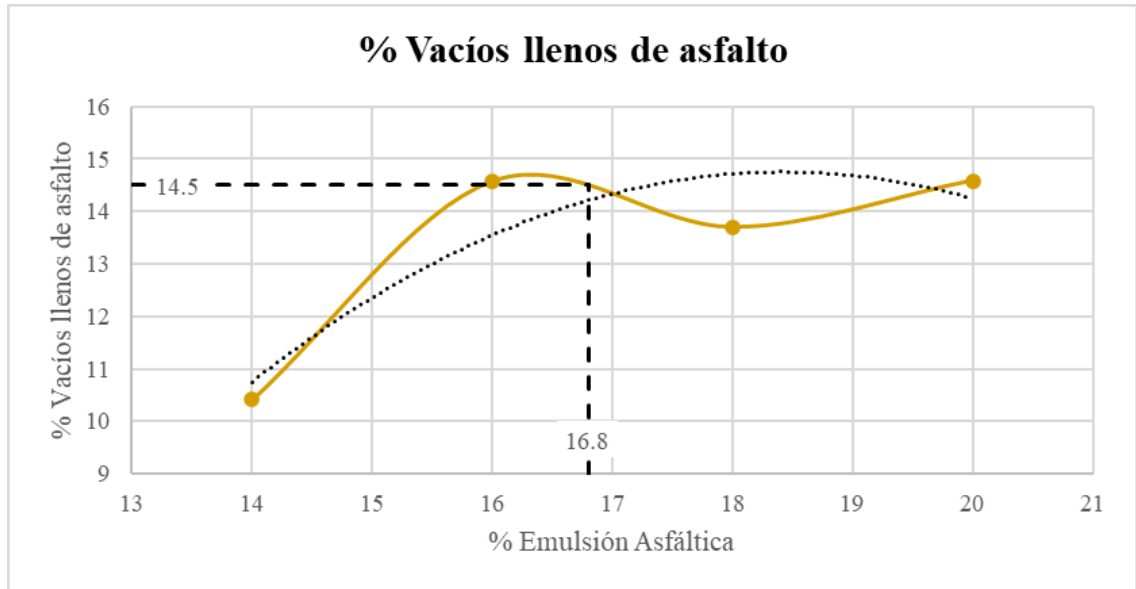
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 41. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto**



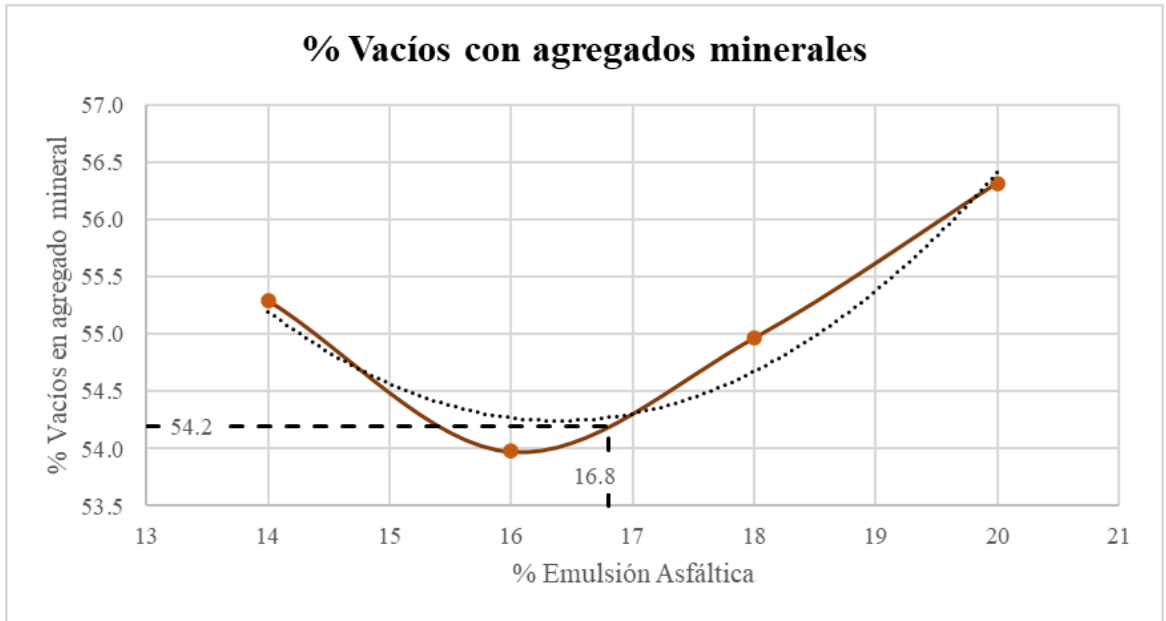
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 42. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto**



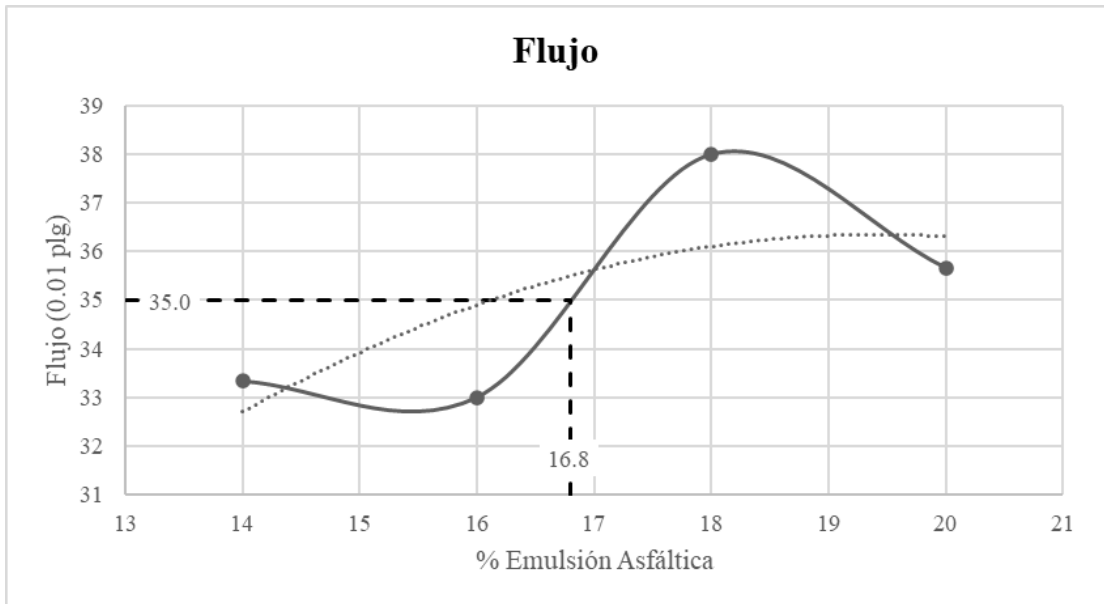
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 43. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 44. Flujo vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



### 3.1.8.3.2. Análisis de resultados mezcla asfáltica con 6% de PET/PE/PP

Mediante la representación gráfica, se analizaron los diferentes valores característicos que presentan las mezclas asfálticas, como son su densidad, estabilidad, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, porcentaje de vacíos con agregado mineral y flujo. Es así que con la ayuda de la tabulación y cálculo de una hoja de cálculo en Excel se cuantificaron esos valores y se procedió a graficarlos dando las siguientes interpretaciones:

- Para el cálculo del % de emulsión óptima se tomó como referencia la gráfica N° 39 y la gráfica N° 40 que corresponden a la densidad y estabilidad dando como valor de emulsión óptima del 16.8 %
- Para la relación de los vacíos con aire de la mezcla asfáltica se identificó que ésta decrece y aumenta con la adición de emulsión, tomando como punto de crecimiento entre el 16% al 18%, dando así que para el porcentaje óptimo se tiene una relación de vacíos con aire del 46.5 %.
- Para la relación de vacíos llenos de asfalto se identificó que ésta aumenta mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene una relación de vacíos llenos de asfalto del 14.5%.
- Para la relación de vacíos en agregado mineral se identificó que ésta decrece y aumenta mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene un porcentaje de vacíos en agregado mineral del 54.2%.
- Para el flujo de las muestras ensayadas se analizó que, éstas aumentan con la adición de emulsión, donde para el porcentaje óptimo del mismo se obtuvo un valor de 35 %, con los datos de flujo y estabilidad se estima que éstos pueden ser utilizado para pavimentos flexibles de tráfico medio.

### 3.1.8.4. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 9% de PET/PE/PP

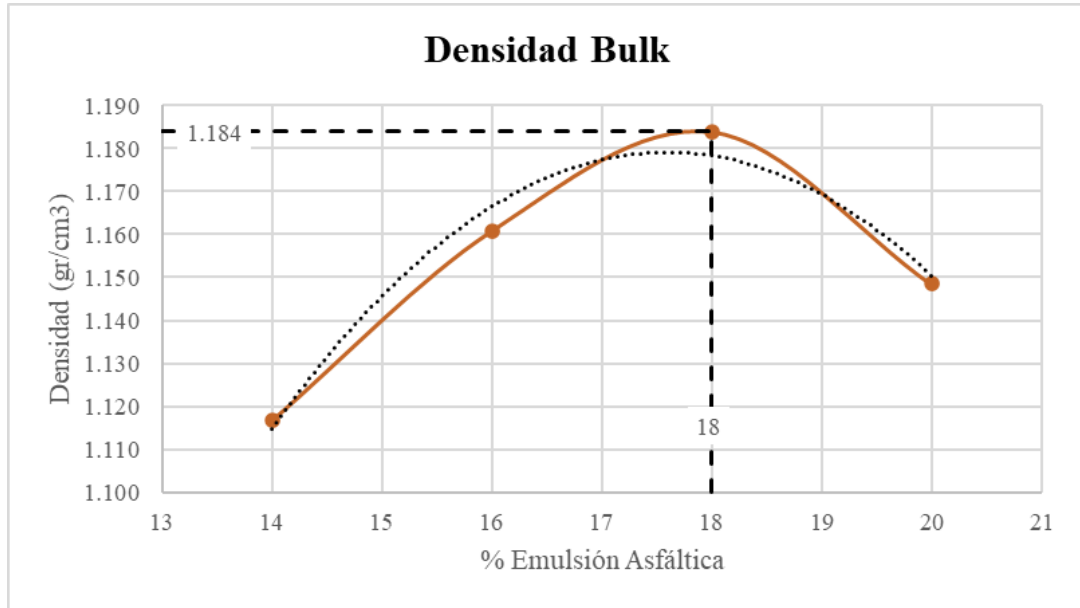
**Tabla 50. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 9% de PET/PE/PP**

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;">                     UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO                      FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA                      CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL                      PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN                 </div>  </div>																								
TEMA:		"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."																						
ENSAYO:		ENSAYO MARSHALL - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO																						
NORMATIVA:		ASTM D 1559 y AASHTO T 225																						
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO					2.479 gr/cm3				GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL ASFALTO					1.025 gr/cm3				FECHA			SEPTIEMBRE - 2022			
MUESTRA N°	EMULSIÓN ASFÁLTICA %	PESO DE LA MUESTRA EN GRAMOS			VOLUMEN DE LA MASA (cm3)	PESO ESPECÍFICO gr/cm3			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES (VAM)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO %	ASFALTO EFECTIVO %	ESPESOR (mm)	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100				
		SECA EN AIRE	S.S EN AIRE	EN AGUA		BULK	MÁXIMA TEÓRICA	MÁXIMA MEDIDA		AGREGADOS	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO					LECTUR A DIAL	FACTORE DE CORRECCIÓN	ESTABILIDA D CORREGIDA					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V				
					$D - E$	$G = \frac{C}{F}$			$\frac{(I - H)100}{I * H(100 - B)}$	$\frac{(100 - B)G}{G.Agreg.}$	$\frac{(I - G)}{I * 100}$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{N - 1}{N * 100}$	$\frac{B - (J(100 - B))}{100}$				$S * T$					
1	14	911.7	991.7	146.25	845.45	1.078										70.80	1247	0.843	1051	31				
2		948.6	985.1	157.2	827.90	1.146										71.60	1542	0.829	1278	28				
3		964.2	997.5	141.1	856.40	1.126										72.30	1378	0.820	1130	32				
<b>Promedio</b>						<b>1.117</b>	2.069	2.483	0.938	39.650	55.034	5.316	60.350	8.809	13.194				<b>1153</b>	<b>30</b>				
1	16	960.5	1002.1	164.4	837.7	1.147										70.50	1678	0.849	1425	30				
2		991.8	1014.2	158.4	855.8	1.159										71.10	1674	0.838	1403	36				
3		972	998.4	172.6	825.8	1.177										69.80	1607	0.862	1385	29				
<b>Promedio</b>						<b>1.161</b>	2.021	2.517	1.160	40.260	53.882	5.858	59.740	9.806	15.025				<b>1404</b>	<b>32</b>				
1	18	974.2	998.3	168.5	829.8	1.174										69.70	1687	0.864	1458	33				
2		968.3	991.6	172.9	818.7	1.183										69.30	1785	0.871	1555	34				
3		987.8	1008.1	181.6	826.5	1.195										67.40	1735	0.913	1584	36				
<b>Promedio</b>						<b>1.184</b>	1.976	2.469	1.234	40.084	52.055	7.861	59.916	13.120	16.988				<b>1532</b>	<b>34</b>				
1	20	882.5	901.6	133.25	768.35	1.149										68.90	1530	0.879	1345	36				
2		887.5	903.7	131.4	772.3	1.149										68.60	1668	0.884	1475	37				
3		885.6	895.8	124.1	771.7	1.148										70.00	1572	0.858	1349	32				
<b>Promedio</b>						<b>1.148</b>	1.932	2.522	1.513	37.933	54.457	7.611	62.067	12.262	18.790				<b>1389</b>	<b>35</b>				

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

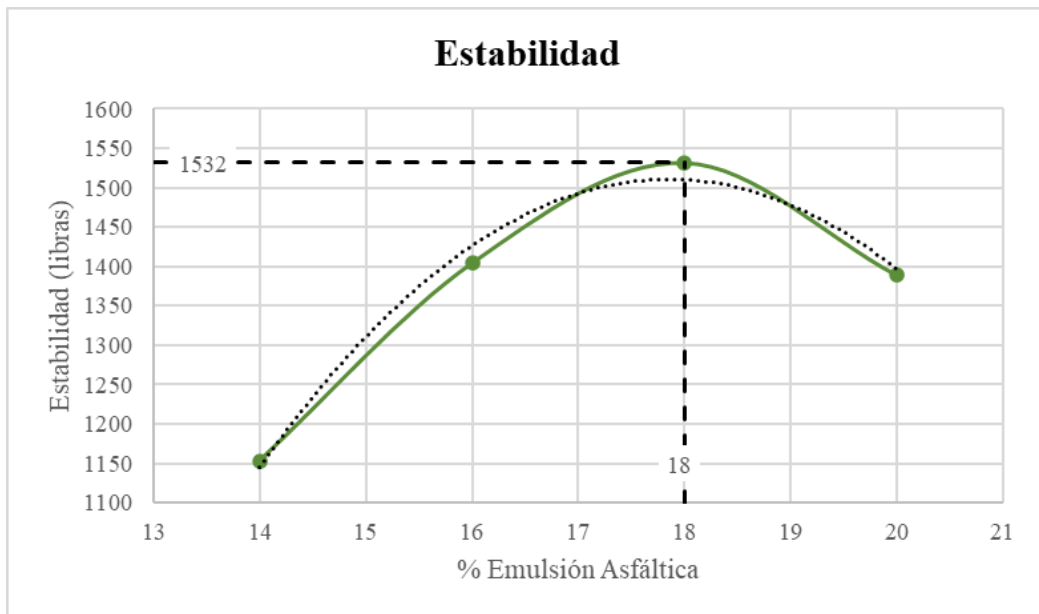
### 3.1.8.4.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 9% PET/PE/PP

**Figura 45. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto**



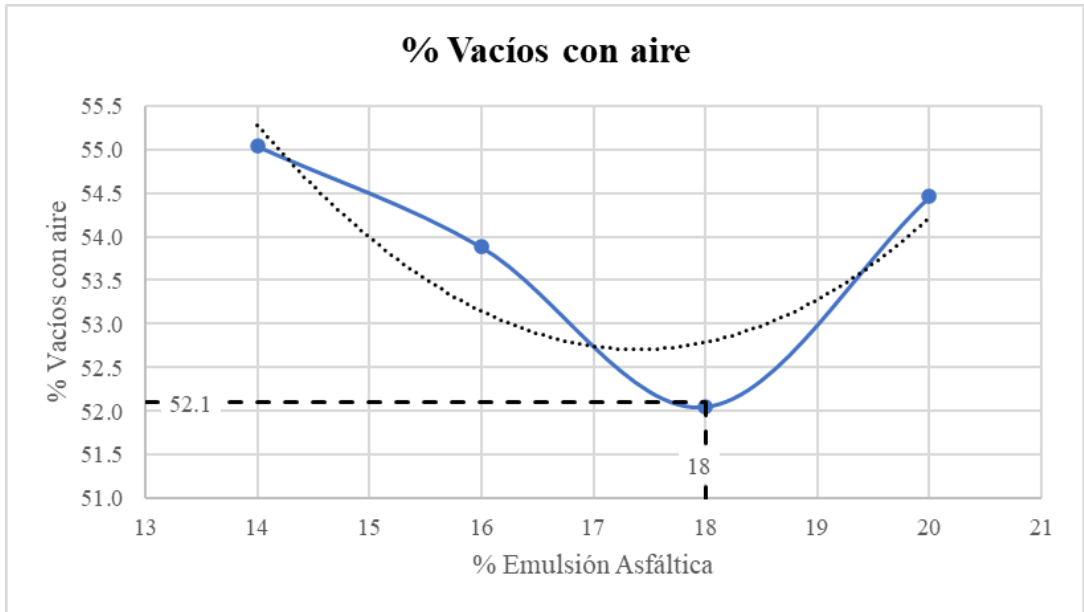
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 46. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto**



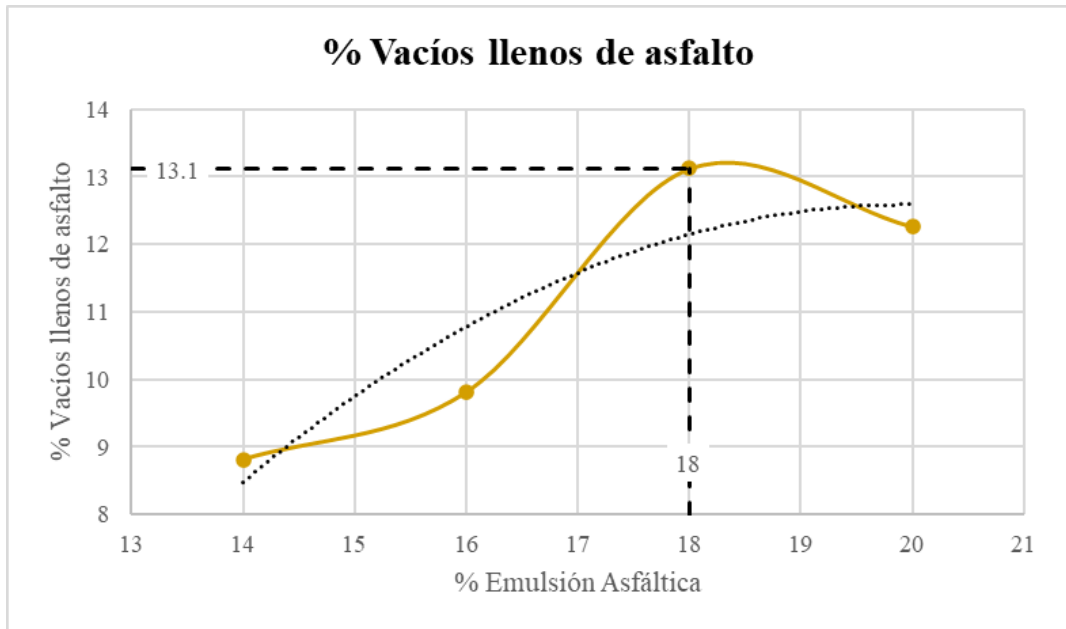
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 47. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto**



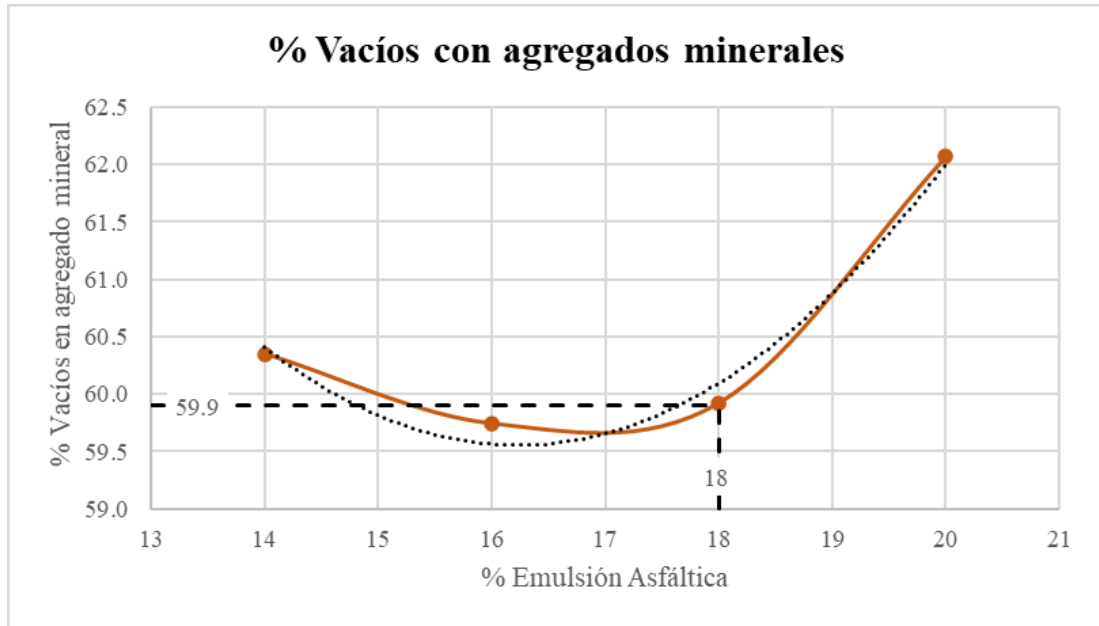
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 48. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto**



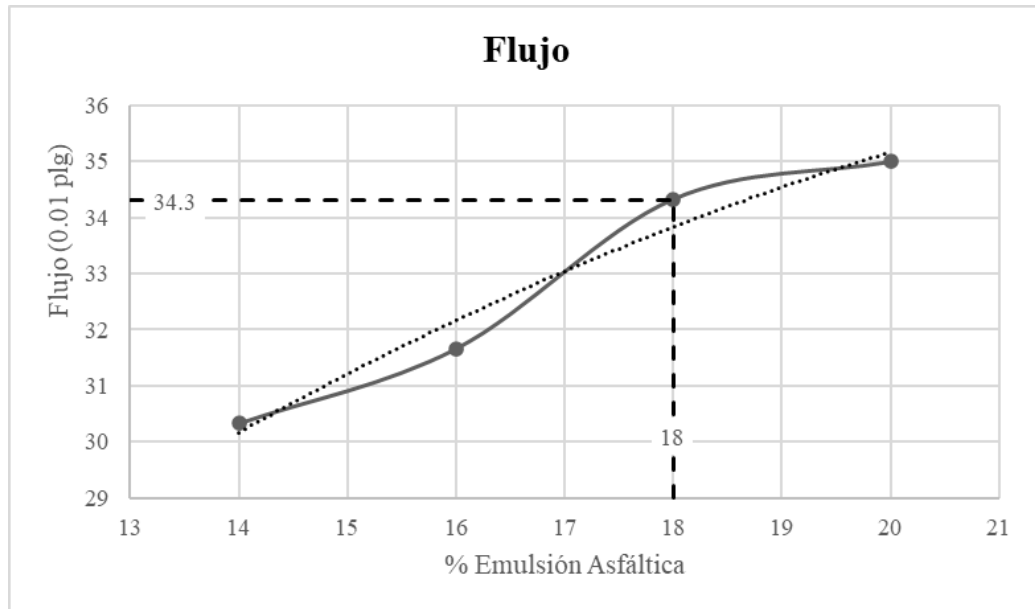
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 49. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 50. Flujo vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor





#### **3.1.8.4.2. Análisis de los resultados mezcla asfáltica con 9% de PET/PE/PP**

Mediante la representación gráfica, se analizaron los diferentes valores característicos que presentan las mezclas asfálticas, como son su densidad, estabilidad, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, porcentaje de vacíos con agregado mineral y flujo. Es así que con la ayuda de la tabulación y cálculo de una hoja de cálculo en Excel se cuantificaron esos valores y se procedió a graficarlos dando las siguientes interpretaciones:

- Para el cálculo del % de emulsión óptima se tomó como referencia la gráfica N° 45 y la gráfica N° 46 que corresponden a la densidad y estabilidad dando como valor de emulsión óptima del 18 %
- Para la relación de los vacíos con aire de la mezcla asfáltica se identificó que ésta decrece y aumenta con la adición de emulsión, tomando como punto de crecimiento en el 18%, dando así que para el porcentaje óptimo se tiene una relación de vacíos con aire del 52.1 %.
- Para la relación de vacíos llenos de asfalto se identificó que ésta aumenta y decrece mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene una relación de vacíos llenos de asfalto del 13.1%.
- Para la relación de vacíos en agregado mineral se identificó que esta decrece y aumenta mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión tenemos un porcentaje de vacíos en agregado mineral del 59.9%.
- Para el flujo de las muestras ensayadas se analizó que, éstas aumentan con la adición de emulsión, para el porcentaje óptimo del mismo se obtuvo un valor de 34.3 %, con los datos de flujo y estabilidad se estimará que estos pueden ser utilizados para pavimentos flexibles de tráfico medio.

### 3.1.8.5. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 12% de PET/PE/PP

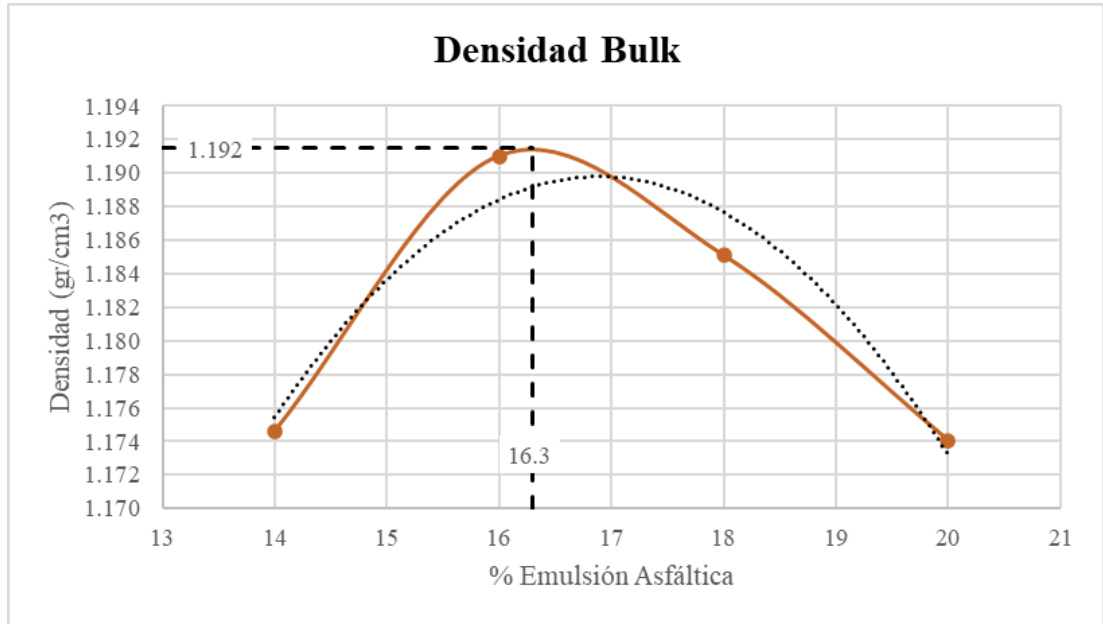
**Tabla 51. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 12% de PET/PE/PP**

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;">                     UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO                      FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA                      CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL                      PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN                 </div>  </div>																						
TEMA:		"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."																				
ENSAYO:		ENSAYO MARSHALL - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO																				
NORMATIVA:		ASTM D 1559 y AASHTO T 225																				
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO					2.479 gr/cm3				GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL ASFALTO					1.025 gr/cm3			FECHA			SEPTIEMBRE - 2022		
MUESTRA N°	EMULSIÓN ASFÁLTICA %	PESO DE LA MUESTRA EN GRAMOS			VOLUMEN DE LA MASA (cm3)	PESO ESPECÍFICO gr/cm3			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES (VAM)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO %	ASFALTO EFECTIVO %	ESPESOR (mm)	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100		
		SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA		BULK	MÁXIMA TEÓRICA	MÁXIMA MEDIDA		AGREGADOS	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO					LECTUR A DIAL	FACTORE DE CORRECCIÓN	ESTABILIDA D CORREGIDA			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V		
					$D - E$	$G = \frac{C}{F}$			$\frac{(I - H)100}{I * H(100 - B)}$	$\frac{(100 - B)G}{G.Agreg.}$	$\frac{(I - G)}{I * 100}$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{N - 1}{N * 100}$	$\frac{B - (J(100 - B))}{100}$				$S * T$			
1	14	787.4	813.4	148.45	664.95	1.184										71.50	1241	0.830	1030	28		
2		845.2	875.4	151.7	723.70	1.168										70.30	1378	0.853	1175	31		
3		867.9	884.2	143.5	740.70	1.172										70.10	1398	0.856	1197	27		
<b>Promedio</b>						<b>1.175</b>	2.069	2.456	0.886	41.706	52.184	6.110	60.294	10.451	13.238				<b>1134</b>	<b>29</b>		
1	16	853.4	892.4	179.9	712.5	1.198										69.70	1375	0.864	1188	31		
2		932.5	955.7	169.3	786.4	1.186										68.50	1378	0.886	1221	29		
3		895.1	912.1	159.6	752.5	1.190										69.10	1377	0.875	1205	32		
<b>Promedio</b>						<b>1.191</b>	2.021	2.494	1.116	41.306	52.242	6.452	58.694	10.993	15.062				<b>1205</b>	<b>31</b>		
1	18	899.5	931.2	167.1	764.1	1.177										68.10	1376	0.895	1232	38		
2		924.8	956.3	167.2	789.1	1.172										69.80	1393	0.862	1201	31		
3		898.9	914.1	168.8	745.3	1.206										67.10	1379	0.920	1269	29		
<b>Promedio</b>						<b>1.185</b>	1.976	2.464	1.223	40.122	51.895	7.984	59.878	13.333	16.997				<b>1234</b>	<b>33</b>		
1	20	903.1	943.6	186.2	757.4	1.192										69.40	1290	0.869	1121	40		
2		925.7	956.7	156.7	800	1.157										67.50	1328	0.910	1208	35		
3		897.1	919.4	154.4	765	1.173										68.40	1311	0.888	1164	34		
<b>Promedio</b>						<b>1.174</b>	1.932	2.526	1.522	38.779	53.521	7.700	61.221	12.577	18.783				<b>1165</b>	<b>36</b>		

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

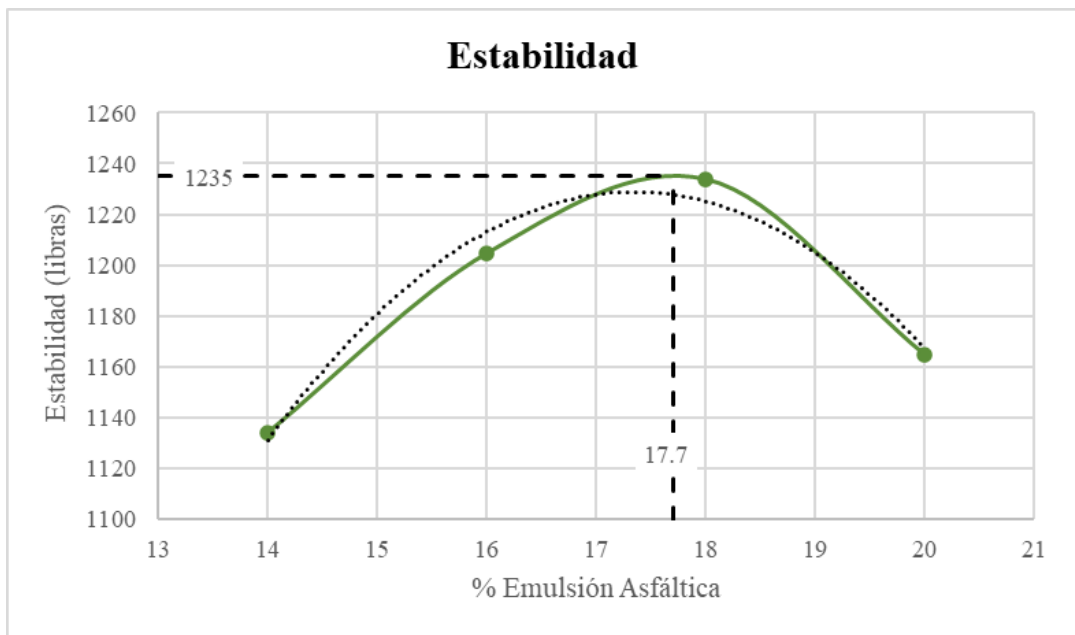
### 3.1.8.5.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 12% PET/PE/PP

**Figura 51. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto**



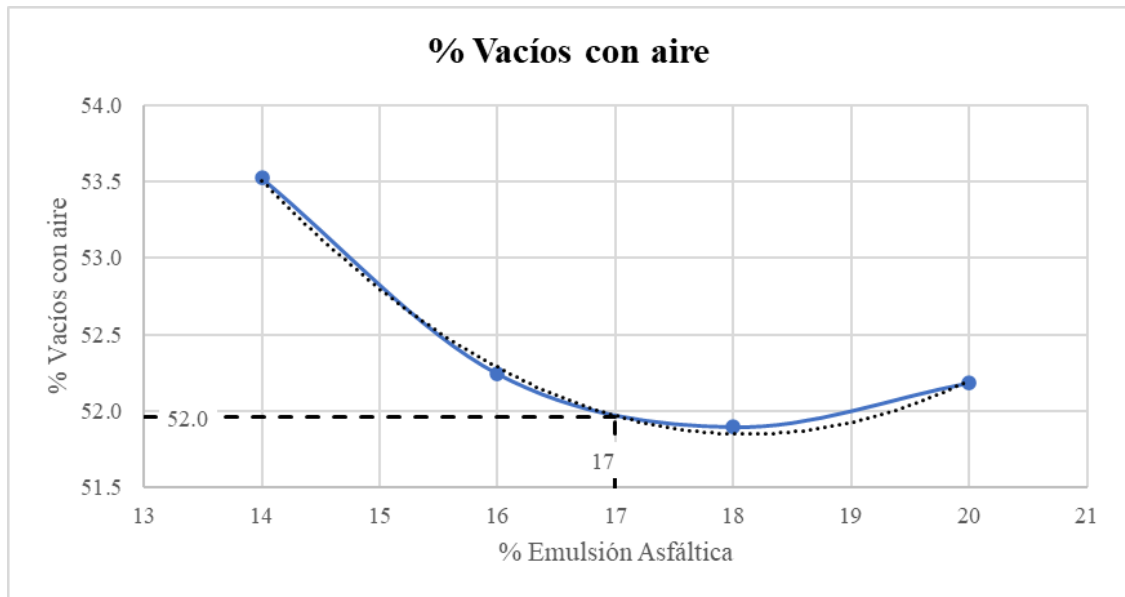
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 52. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto**



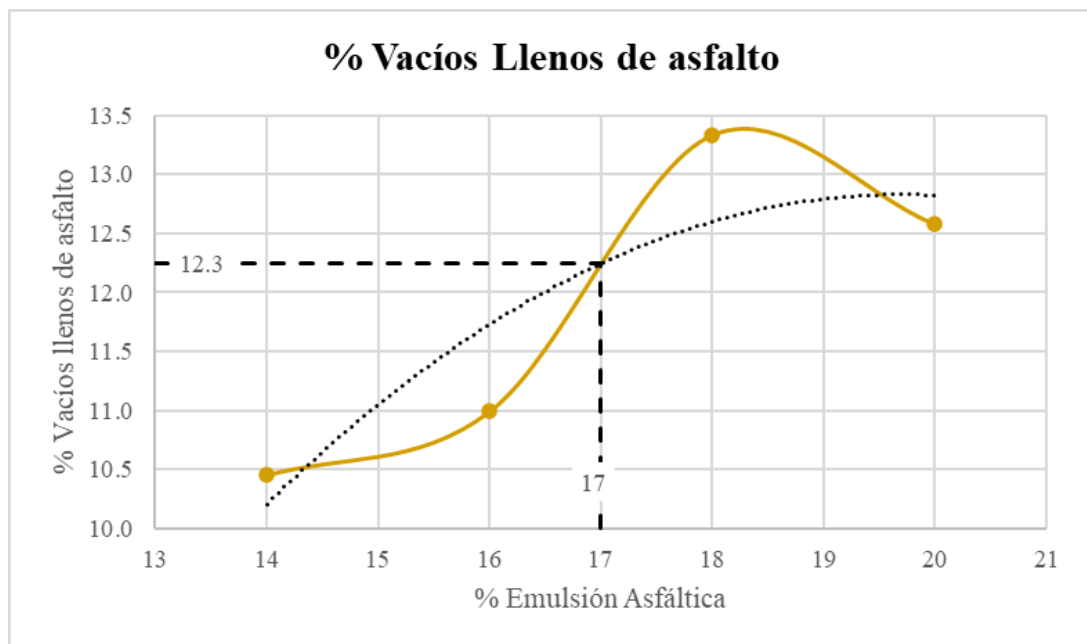
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 53. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto**



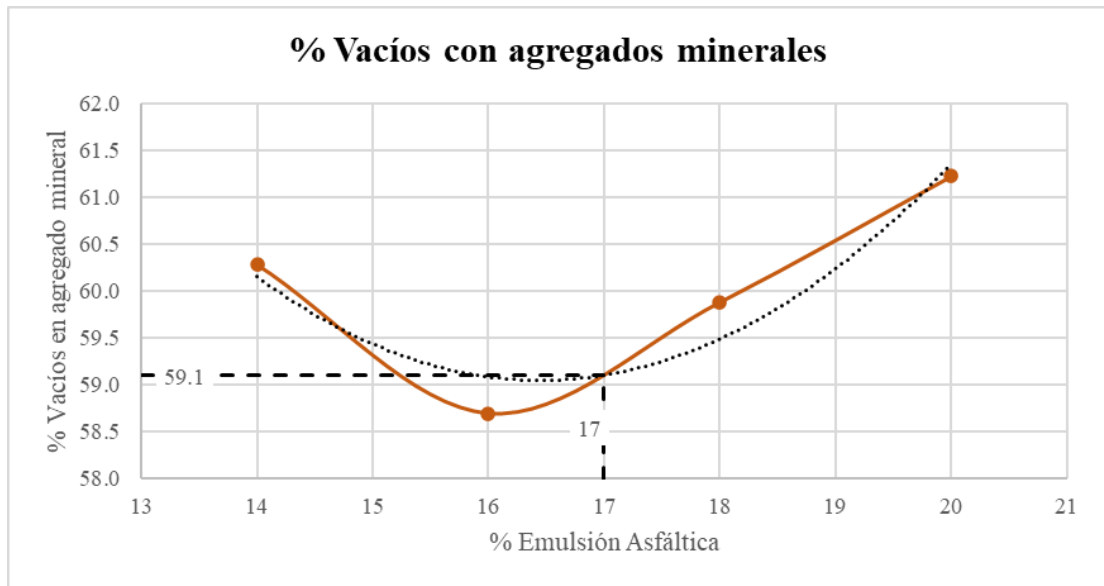
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 54. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto**



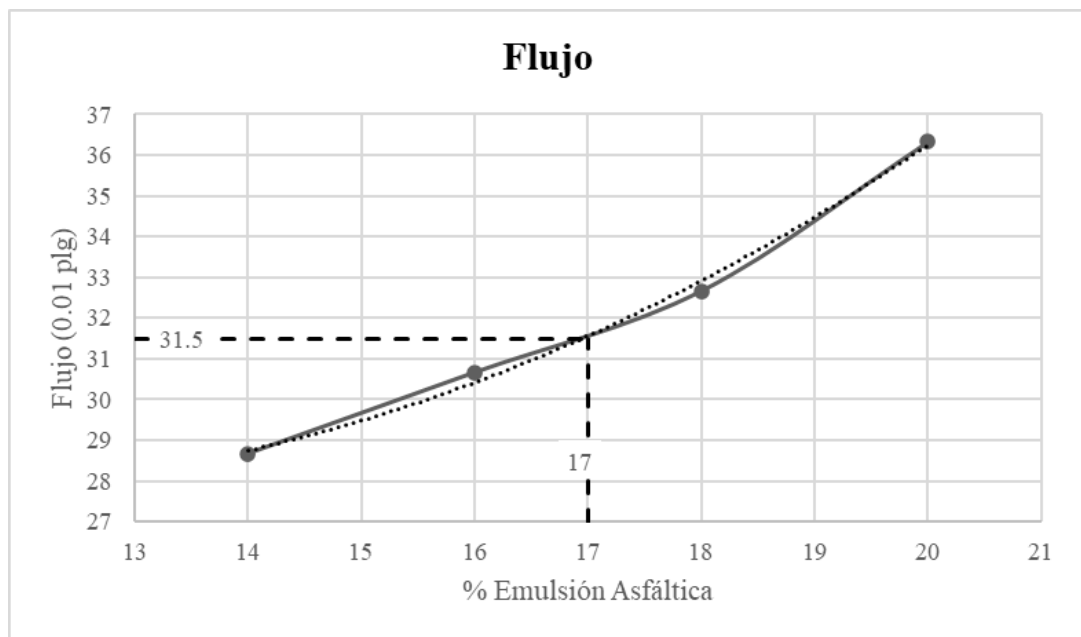
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 55. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 56. Flujo vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



### 3.1.8.5.2. Análisis de los resultados mezcla asfáltica con 12% de PET/PE/PP

Mediante la representación gráfica, se analizaron los diferentes valores característicos que presentan las mezclas asfálticas, como son su densidad, estabilidad, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, porcentaje de vacíos con agregado mineral y flujo. Es así que con la ayuda de la tabulación y cálculo de una hoja de cálculo en Excel se cuantificaron esos valores y se procedió a graficarlos dando las siguientes interpretaciones:

- Para el cálculo del % de emulsión óptima se tomó como referencia la gráfica N° 51 y la gráfica N° 52 que corresponden a la densidad y estabilidad dando como valor de emulsión óptima del 17 %
- Para la relación de los vacíos con aire de la mezcla asfáltica se identificó que ésta decrece y aumenta con la adición de emulsión, tomando como punto de crecimiento en el 18% del mismo, dando así que para el porcentaje óptimo se tiene una relación de vacíos con aire del 52 %.
- Para la relación de vacíos llenos de asfalto se identificó que ésta aumenta y decrece mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene una relación de vacíos llenos de asfalto del 12.3%.
- Para la relación de vacíos en agregado mineral se identificó que ésta decrece y aumenta mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene un porcentaje de vacíos en agregado mineral del 59.1%.
- Para el flujo de las muestras ensayadas se analizó que, éstas aumentan con la adición de emulsión, para el porcentaje óptimo del mismo se obtuvo un valor de 31.5 %, con los datos de flujo y estabilidad se estima que éstos pueden ser utilizado para pavimentos flexibles de tráfico liviano.

### 3.1.8.6. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 15% de PET/PE/PP

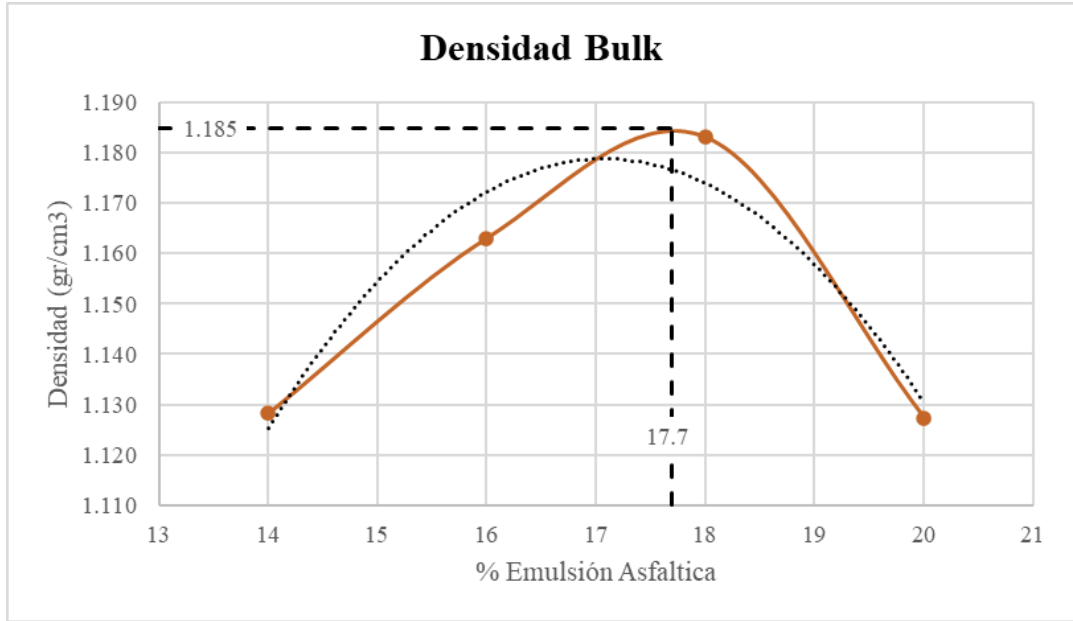
**Tabla 52. Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas + 15% de PET/PE/PP**

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;">                     UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO                      FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA                      CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL                      PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN                 </div>  </div>																								
TEMA:		"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."																						
ENSAYO:		ENSAYO MARSHALL - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO																						
NORMATIVA:		ASTM D 1559 y AASHTO T 225																						
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO					2.479 gr/cm <sup>3</sup>				GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL ASFALTO					1.025 gr/cm <sup>3</sup>				FECHA			SEPTIEMBRE - 2022			
MUESTRA N°	EMULSIÓN ASFÁLTICA %	PESO DE LA MUESTRA EN GRAMOS			VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup>			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES (VAM)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO %	ASFALTO EFECTIVO %	ESPESOR (mm)	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100				
		SECA EN AIRE	S.S EN AIRE	EN AGUA		BULK	MÁXIMA TEÓRICA	MÁXIMA MEDIDA		AGREGADOS	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO					LECTURA DIAL	FACTORE DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V				
					$D - E$	$G = \frac{C}{F}$			$\frac{(I - H)100}{I * H(100 - B)}$	$\frac{(100 - B)G}{G. Agreg.}$	$\frac{(J - G)}{I * 100}$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{N - 1}{N * 100}$	$\frac{B - (J(100 - B))}{100}$				$S * T$					
1	14	832.8	873.8	128.45	745.35	1.117										69.10	957	0.875	837	26				
2		879.5	901.4	137.5	763.90	1.151										67.30	896	0.915	820	24				
3		859.4	895.6	125.5	770.10	1.116										68.50	915	0.886	811	27				
<b>Promedio</b>						<b>1.128</b>	2.069	2.521	1.008	40.059	55.252	4.689	59.941	7.822	13.133				<b>823</b>	<b>26</b>				
1	16	810.6	807.6	127.3	680.3	1.192										69.10	1309	0.875	1145	28				
2		889.6	914.2	141.2	773	1.151										68.90	1581	0.879	1390	29				
3		897.1	921.3	139.1	782.2	1.147										67.70	1672	0.905	1513	31				
<b>Promedio</b>						<b>1.163</b>	2.021	2.481	1.092	40.337	53.125	6.537	59.663	10.957	15.083				<b>1349</b>	<b>29</b>				
1	18	869.4	852	125.35	726.65	1.196										69.30	1385	0.871	1206	29				
2		910.4	914.2	132.7	781.5	1.165										69.10	1340	0.875	1173	31				
3		864.2	854.8	127.4	727.4	1.188										70.10	1294	0.856	1108	32				
<b>Promedio</b>						<b>1.183</b>	1.976	2.471	1.237	40.056	52.111	7.833	59.944	13.068	16.986				<b>1162</b>	<b>31</b>				
1	20	790.3	816.4	114.23	702.17	1.126										67.80	1120	0.903	1011	34				
2		826.7	879.2	128.5	750.7	1.101										67.80	1482	0.903	1338	29				
3		842.1	856.7	127.8	728.9	1.155										67.90	1276	0.900	1148	36				
<b>Promedio</b>						<b>1.127</b>	1.932	2.454	1.377	37.236	54.064	8.700	62.764	13.861	18.899				<b>1166</b>	<b>33</b>				

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

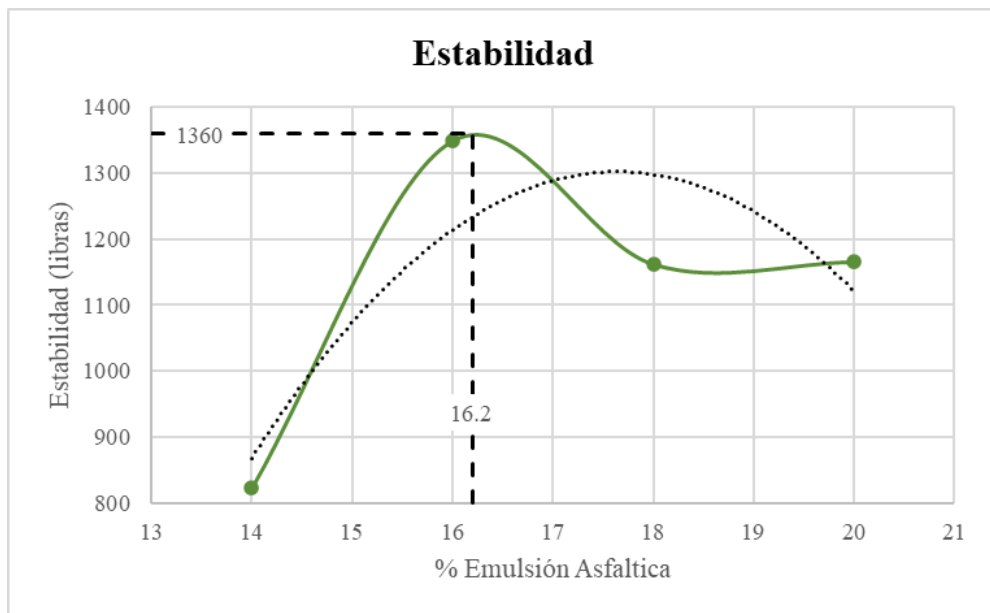
### 3.1.8.6.1. Curvas de diseño Marshall con la adición de 15% PET/PE/PP

**Figura 57. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

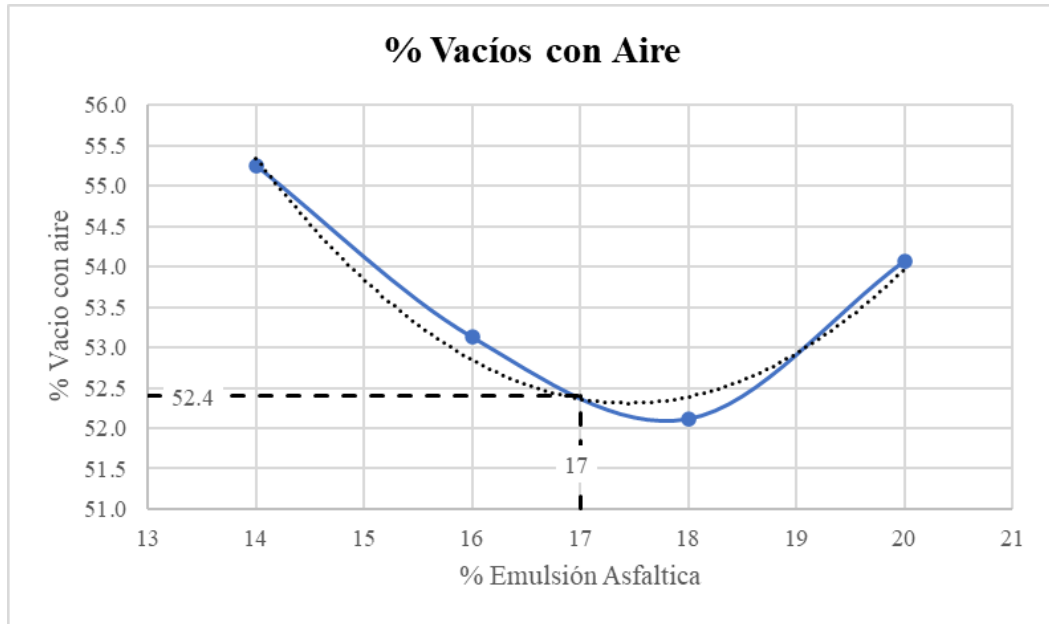
**Figura 58. Estabilidad vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

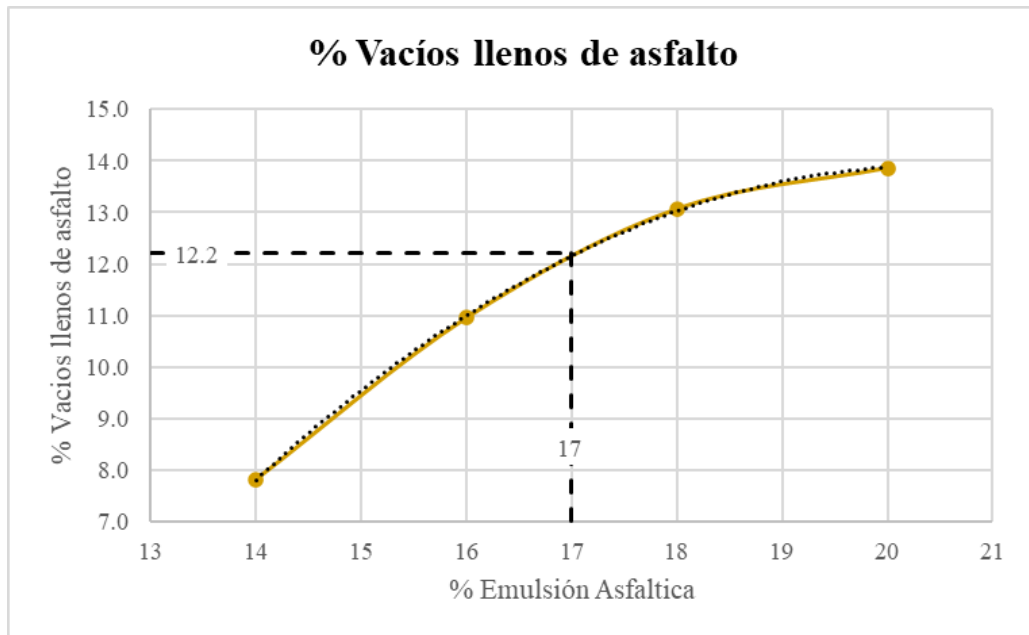


**Figura 59. Porcentaje Vacíos con Aire vs. Porcentaje de asfalto**



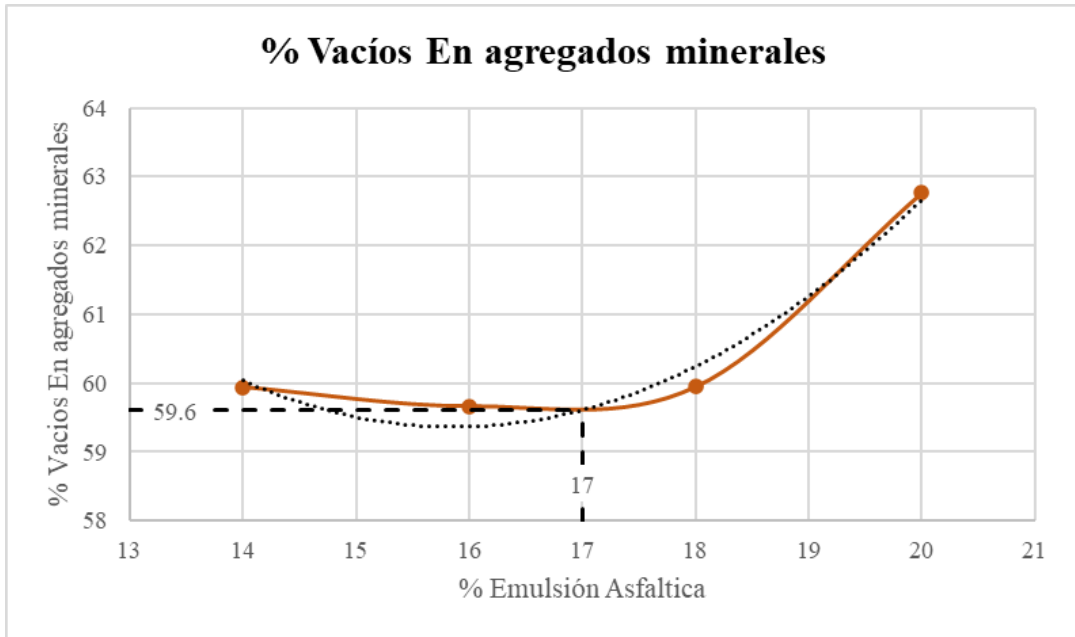
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 60. Porcentaje Vacíos lleno de asfalto vs. Porcentaje de asfalto**



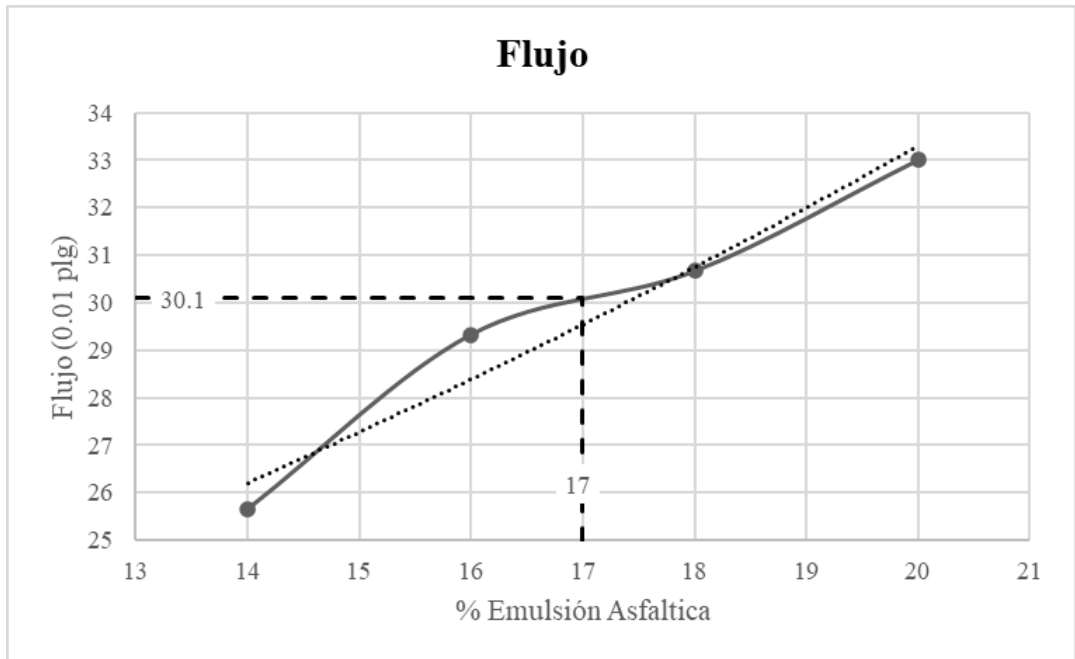
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 61. Porcentaje Vacíos en agregados minerales vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Figura 62. Flujo vs. Porcentaje de asfalto**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### 3.1.8.6.2. Análisis de los resultados mezcla asfáltica con 15% de PET/PE/PP

Mediante la representación gráfica, se analizaron los diferentes valores característicos que presentan las mezclas asfálticas, como son su densidad, estabilidad, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, porcentaje de vacíos con agregado mineral y flujo. Es así que con la ayuda de la tabulación y cálculo de una hoja de cálculo en Excel se cuantificaron esos valores y se procedió a graficarlos dando las siguientes interpretaciones:

- Para el cálculo del % de emulsión óptima se tomó como referencia la gráfica N° 57 y la gráfica N° 58 que corresponden a la densidad y estabilidad dando como valor de emulsión óptima del 17 %
- Para la relación de los vacíos con aire de la mezcla asfáltica se identificó que ésta decrece y aumenta con la adición de emulsión, tomando como punto de crecimiento en el 18% del mismo, dando así que para el porcentaje óptimo se tiene una relación de vacíos con aire del 52.4 %.
- Para la relación de vacíos llenos de asfalto se identificó que ésta aumenta mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene una relación de vacíos llenos de asfalto del 12.2%.
- Para la relación de vacíos en agregado mineral se identificó que ésta decrece y aumenta mediante la adición de emulsión asfáltica, analizando así que para el porcentaje óptimo de emulsión se tiene un porcentaje de vacíos en agregado mineral del 59.6%.
- Para el flujo de las muestras ensayadas se analizó que, éstas aumentan con la adición de emulsión, donde para el porcentaje óptimo del mismo se obtuvo un valor de 30.1 %, con los datos de flujo y estabilidad se estima que éstos pueden ser utilizado para pavimentos flexibles de tráfico medio.

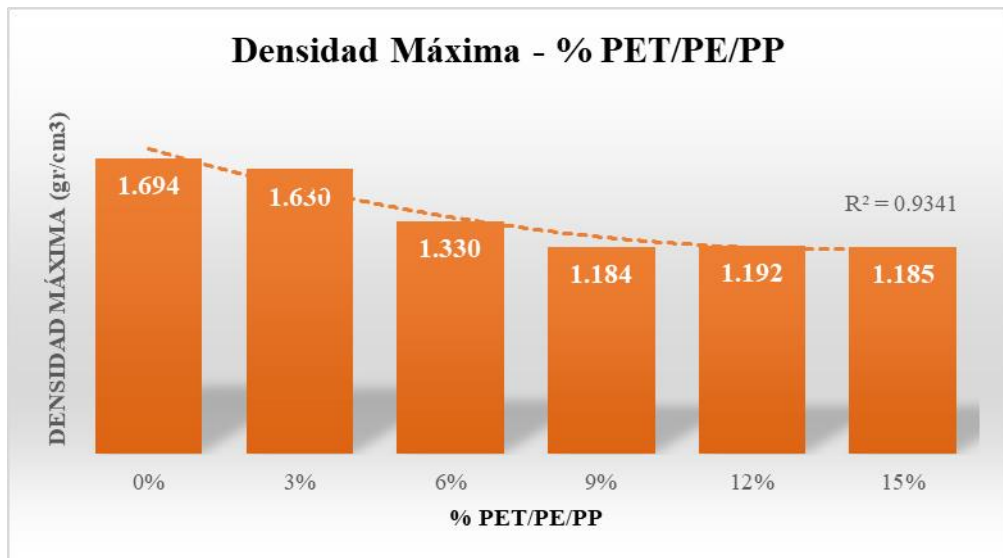
### 3.1.9. Análisis de los resultados (Tablas resumen)

**Tabla 53. Resumen ensayo Marshall con los diferentes porcentajes de PET/PE/PP**

% PET	Densidad Bulk (máxima) (gr/cm3)	Emulsión Asfáltica (%)	Estabilidad (máxima) (lb)	Emulsión Asfáltica (%)	Emulsión Asfáltica Óptima (%)	Vacíos con aire (%)	Vacíos llenos de asfalto (%)	Vacíos agregado mineral (%)	Flujo (pulg/100)
0%	1.694	17.4	3253	18.0	17.7%	13.2	71.0	43.8	46
3%	1.630	16.2	1635	16.2	16.2%	32.2	26.0	43.6	37
6%	1.330	17.6	1609	16.0	16.8%	46.5	14.5	54.2	35
9%	1.184	18.0	1532	18.0	18.0%	52.1	13.1	59.9	34
12%	1.192	16.3	1235	17.7	17.0%	52.0	12.3	59.1	32
15%	1.185	17.7	1360	16.2	17.0%	52.4	12.2	59.6	30

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Looor

**Figura 63. Densidad Máxima vs. PET/PE/PP**

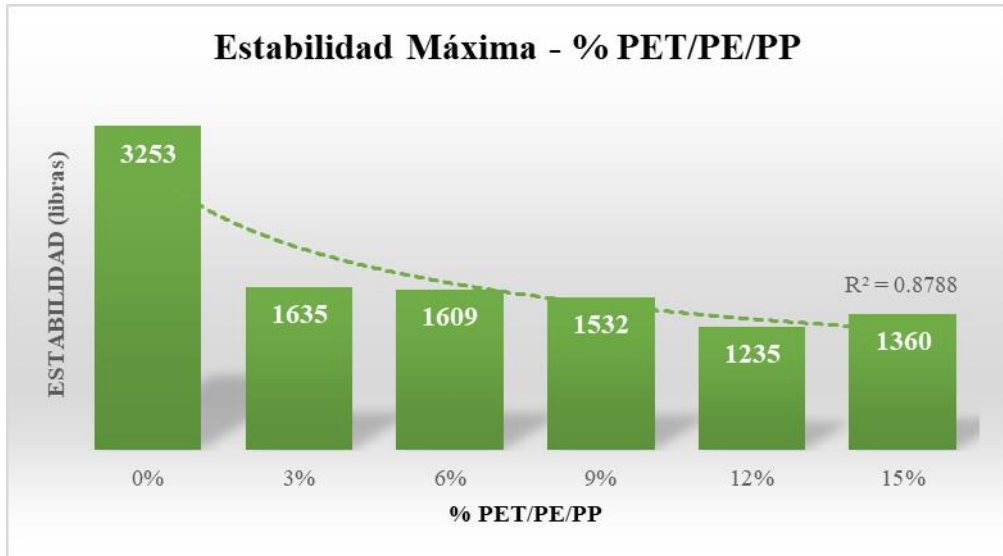


Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Looor

#### 3.1.9.1. Análisis de resultados Densidad Máxima vs PET/PE/PP

Con respecto al gráfico N° 63 se observa que mediante la adición del PET/PE/PP (Tereftalato de Polietileno), la densidad máxima de la mezcla asfáltica ensayada disminuye con respecto al polímero añadido. Esto quiere decir que las mezclas asfálticas modificadas con dicho polímero cambian las características en donde interviene la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables, en comparación con la mezcla asfáltica sin modificar que mantiene un valor elevado en comparación a las que briquetas con la adición de PET/PE/PP.

**Figura 64. Estabilidad Máxima vs. PET/PE/PP**

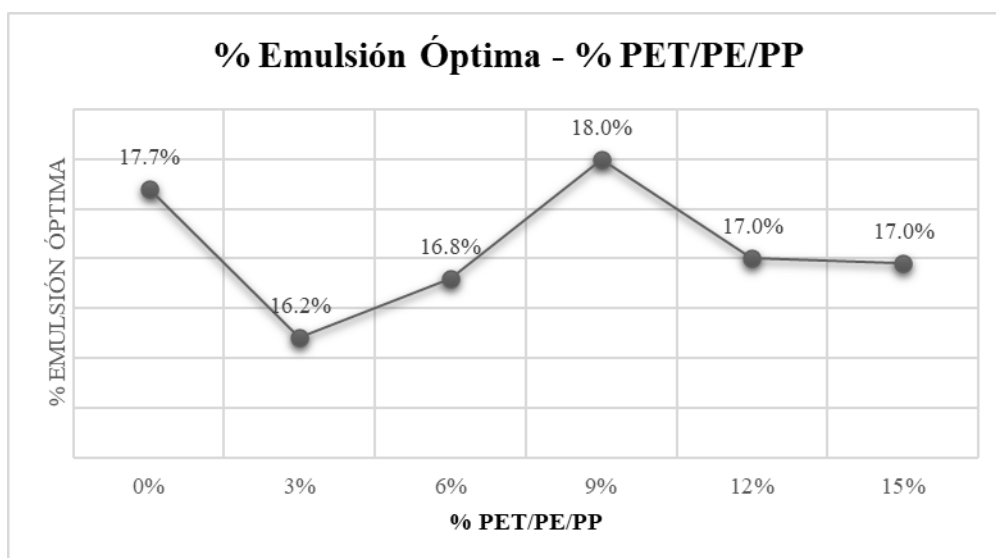


**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### **3.1.9.2. Análisis de resultados Estabilidad Máxima vs PET/PE/PP**

Con respecto al gráfico N° 64 se observa que mediante la adición del PET/PE/PP (Tereftalato de Polietileno), la estabilidad máxima alcanzada de las mezclas asfálticas ensayadas es de 3253 lb que corresponde a la mezcla sin la adición de polímero, en comparación con la mínima la cual corresponde al 12% de PET/PE/PP añadido, dando un valor de 1253 lb. La estabilidad disminuye en las briquetas con polímero añadido, es decir que las mezclas asfálticas modificadas, presentan menores capacidades para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito, en comparación con la mezcla asfáltica sin modificar que sobrepasa la capacidad especificada donde mantiene un valor elevado respecto a las briquetas ensayadas con la adición de PET/PE/PP.

**Figura 65. Emulsión Óptima vs. PET/PE/PP**

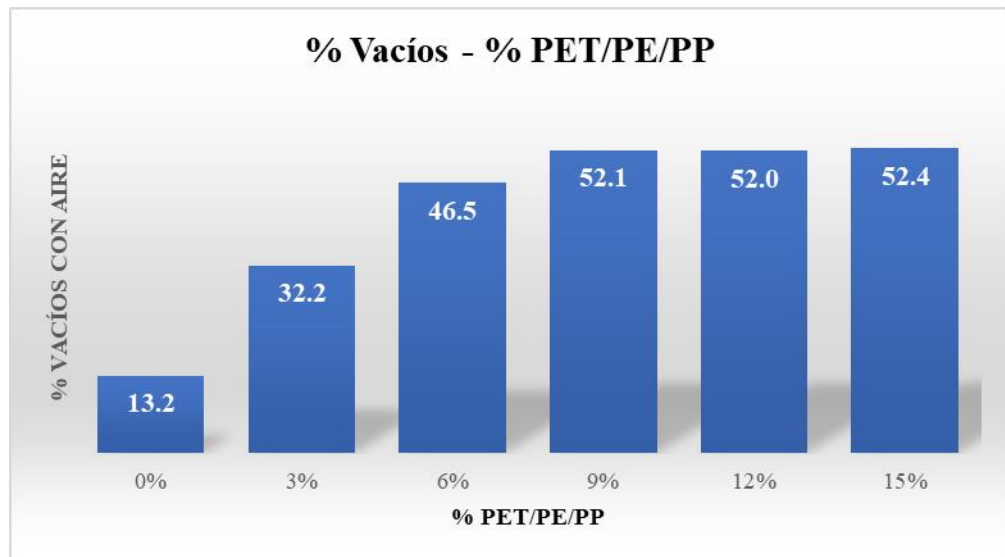


**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### **3.1.9.3. Análisis resultados Emulsión Óptima vs PET/PE/PP**

Con respecto al gráfico N° 65 se observa que mediante la adición del PET/PE/PP (Tereftalato de Polietileno), la emulsión óptima alcanzada de las mezclas asfálticas ensayadas fue del 18% que corresponde a la mezcla con adición de polímero del 12% de PET/PE/PP añadido, y la mínima con la adición de 3% de polímero con 16.2 %. El valor óptimo de emulsión asfáltica se encuentra en un rango moderado entre el 16% y 18% para todas las muestras, esto quiere decir que el porcentaje de emulsión óptima de las mezclas asfálticas tanto modificadas como sin alterar, se tomaría como un valor promedio para su uso en diseño de pavimentos.

**Figura 66. Porcentaje de Vacíos con Aire vs. PET/PE/PP**

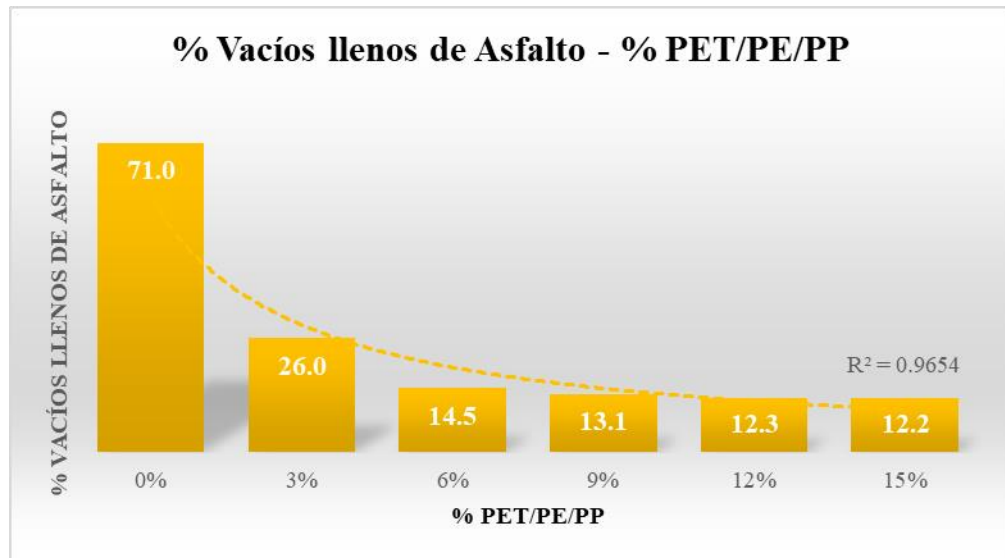


**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

#### **3.1.9.4. Análisis de los resultados porcentaje de vacíos con aire Vs PET/PE/PP**

Con respecto al gráfico N° 66 se observa que mediante la adición del PET/PE/PP (Tereftalato de Polietileno), el % de vacíos con aire aumenta con respecto al polímero añadido. Esto quiere decir que, en las mezclas asfálticas modificadas, las partículas de polímero llegan a ocupar el volumen de las partículas y la emulsión asfáltica que se deben presentar dentro del ensayo, incrementando teóricamente el % de vacíos alcanzado al máximo con la adición de 15% de PET/PE/PP en un valor de 52.4 %. En comparación con la mezcla asfáltica sin modificar que alcanza tan solo el valor de 13.2% de vacíos con aire donde mantiene un valor mínimo a las briquetas ensayadas con la adición de PET/PE/PP.

**Figura 67. Porcentaje de Vacíos llenos de Asfalto vs PET/PE/PP**



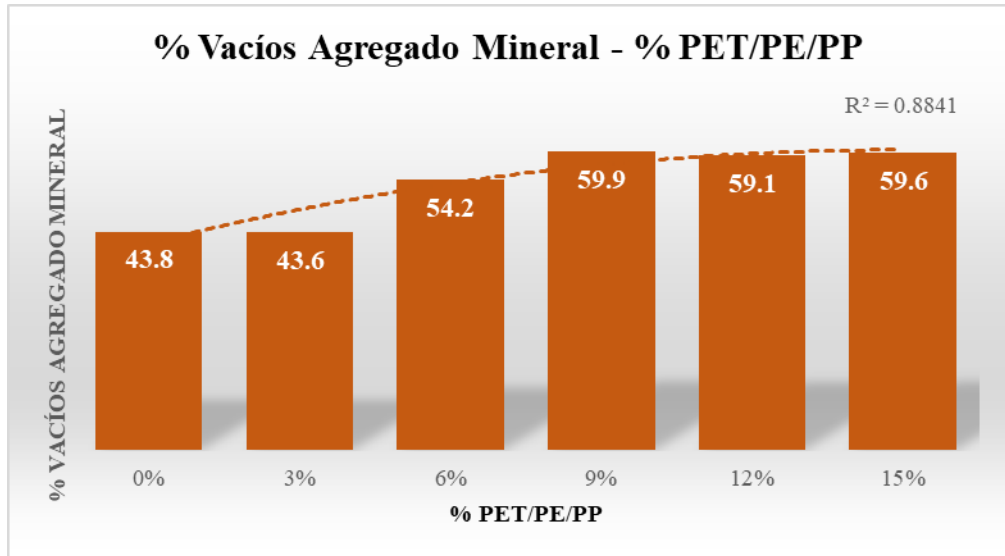
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### **3.1.9.5. Análisis de los resultados porcentaje de vacíos llenos de asfalto Vs PET/PE/PP**

Con respecto al gráfico N° 67 se observa que mediante la adición del PET/PE/PP (Tereftalato de Polietileno), el % de vacíos llenos de Asfalto disminuye con respecto al polímero añadido. Esto quiere decir que, en las mezclas asfálticas modificadas, las partículas de polímero llegan a ocupar la porción del volumen que es ocupado por el asfalto efectivo entre las partículas de agregado, con lo cual disminuye el % de vacíos llenos de asfalto alcanzando el mínimo de 12.2% con la adición de 15% de PET/PE/PP, en comparación con la mezcla asfáltica sin modificar que alcanza el valor máximo de 71%.



**Figura 68. Vacíos Agregado Mineral vs PET/PE/PP**



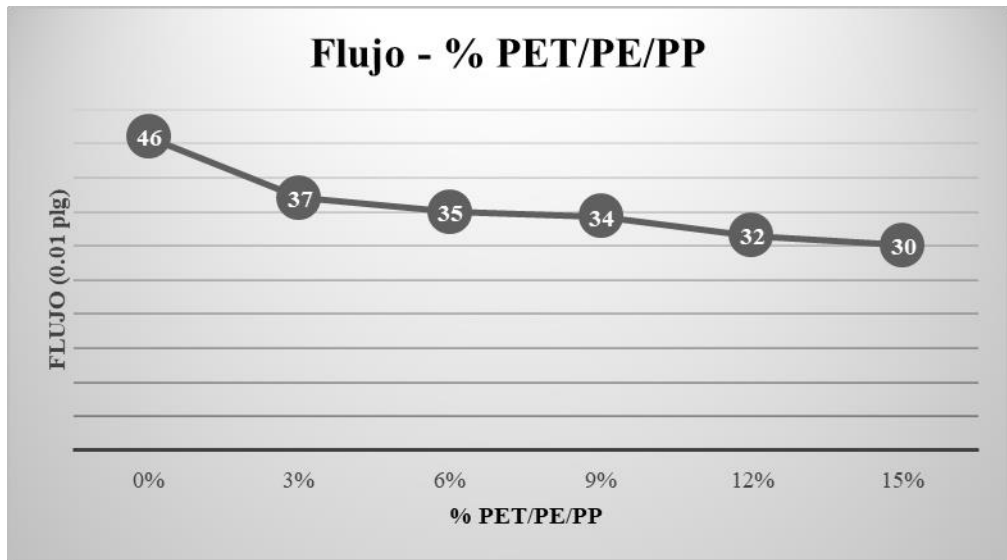
**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### **3.1.9.6. Análisis de los resultados porcentaje de vacíos agregado mineral Vs PET/PE/PP**

Con respecto al gráfico N° 68 se observa que mediante la adición del PET/PE/PP (Tereftalato de Polietileno), el % de vacíos en agregado mineral aumenta con respecto al polímero añadido. Esto quiere decir que, en las mezclas asfálticas modificadas, las partículas de polímero no permiten que los agregados absorban suficiente emulsión asfáltica por lo que este % de vacíos en la mezcla se incrementa.

El % de vacíos en agregado mineral alcanza el valor máximo de 59.6% con la adición de 15% de PET/PE/PP, en comparación con la mezcla asfáltica sin modificar que alcanza el valor mínimo de 43.8%.

**Figura 69. Flujo vs. PET/PE/PP**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### **3.1.9.7. Análisis de los resultados Porcentaje de Fljo vs. PET/PE/PP**

Con respecto al gráfico N° 69 se observa que mediante la adición del PET/PE/PP (Tereftalato de Polietileno), el flujo de las mezclas asfálticas ensayadas disminuye con respecto al polímero añadido. Esto quiere decir que, en las mezclas asfálticas modificadas con partículas plásticas, las mezclas asfálticas tienden a ser más rígidas en comparación con la mezcla sin alterar. El flujo máximo alcanzó el valor de 46 pulg/100 sin la adición de PET/PE/PP, mientras que la mezcla asfáltica modificada con 15% de PET/PE/PP alcanzó el valor mínimo de 30 pulg/100.

### **3.1.10. Análisis Económico**

Para el análisis económico se ha considerado los rubros de la carpeta asfáltica, base clase II, subbase clase III, y el polímero (PET/PE/PP) el cual será utilizado para el otro diseño del pavimento, así de esta forma establecer una comparación entre los costes de estos diseños tomando en cuenta que los espesores de la subbase difieren en cada diseño y cómo esta diferencia a su vez repercute en el coste total.

Para realizar el análisis de precios unitarios se ha tomado como referencia los APUs del proyecto “Diseño Geométrico de la Vía Adonm Calderon, perteneciente a la parroquia San Pablo, cantón Santa Elena” donde en el apartado de anexos se puede visualizar de forma detallada cada uno de los rubros que se han considerado para el análisis.

A continuación, se tabula el presupuesto para cada diseño de pavimento flexible considerando una carretera de mediana capacidad con un ancho de la vía de 7.30 m (3.65m por carril) para una distancia de 1 km. En el primer diseño se toma la subrasante en estado natural debidamente compactada presentando un CBR de 10% el cual se obtuvo por estudio tomando el valor mínimo.

**Tabla 54: Presupuesto – Diseño 1**

DISEÑO 1 PRESUPUESTO					
RUBRO N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de e=10cm	M2	7300	12.45	90885
2	Base clase II	M3	1095	19.45	21297.75
3	Subbase clase III	M3	1460	16.57	24192.2
				TOTAL	136374.95

Fuente: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 55: Presupuesto – Diseño 2**

DISEÑO 2 PRESUPUESTO					
RUBRO N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de e=10cm	M2	7300	12.45	90885
2	Base clase II	M3	1095	19.45	21297.75
3	Subbase clase III	M3	1460	16.57	24192.2
4	Material Modificador PET/PP/PE	KG	2400	4.55	10920
				TOTAL	147294.95

Fuente: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

Con el análisis y comparación económica ejecutada, se estima que el diseño 2 resulta más costoso con respecto al diseño 1 ya que se considera únicamente la carpeta asfáltica, la base clase II y subbase case III con la adición del material modificador (PET/PP/PE), el diseño 1 resulta más económico, pero se mantendrían las propiedades físicas- mecánicas del suelo natural.

### **3.1.11. Análisis de tráfico**

Estar al tanto de la cantidad de vehículos que transitan por un espacio en concreto y en un tiempo determinado es muy importante tanto para el diseño de una vía como para la realización de un proyecto vial, éste es el caso para el diseño de un pavimento que inicia tomando datos veraces obtenidos de la observación del tráfico habitual en un punto clave y específico de análisis.

Para la determinación de la cantidad de volumen de tránsito, se realizó un conteo de forma manual, en la Avenida Cesar Augusto Salazar y Dr. Julio Castillo Jácome cantón Ambato, provincia de Tungurahua, parroquia Izamba, la cual se llevó a cabo durante 7 días siguientes a lo largo de 12 horas, desde las 6:00 am hasta las 18:00 pm en intervalos de 15 minutos en ambos sentidos

3.1.11.1.

Tipos de Vehículos

Tabla 56. Tipos de vehículos de carga pesada

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS (t)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (m)		
				LARGO	ANCHO	ALTO
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			17	12,00	2,60	4,10
3-A			26	12,20	2,60	4,10
4-C			30	12,20	2,60	4,10
4-0 OCTOPUS			32	12,00	2,60	4,10
2S1			28	18,50	2,60	4,10
2S2			37	18,50	2,60	4,10
2S3			41	18,50	2,60	4,10
3S1			37	18,50	2,60	4,10
3S2			46	18,50	2,60	4,10
3S3			48	18,50	2,60	4,10
2R2			39	18,50	2,60	4,10
2R3			48	18,50	2,60	4,10

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO)

### 3.1.11.2. Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Para el cálculo TPDA se aplicó el método de la 30va hora por el número de vehículos en la hora de mayor tránsito tiene que dividirse para un porcentaje que depende del tipo de vía, para una vía urbana el porcentaje va de 8% a 12% y una vía rural el porcentaje va de 12% a 18%. En este caso el conteo vehicular se llevó a cabo en una vía urbana por lo que se toma el 10% como valor promedio que se encuentra en el rango.

$$T.P.D.A = \frac{V.H.P}{P}$$

Donde:

T.P.D.A: Tráfico promedio diario anual.

V.H.P: Volumen de vehículos durante la hora pico.

P: % de la 30va hora de diseño según el tipo de vía.

A continuación, se muestra el volumen de tráfico durante la hora de mayor tránsito del día de mayor tránsito determinado que fue el día Lunes de 10:45 – 11:45 con un total 703 vehículos.

**Tabla 57. Volumen de tránsito durante la hora pico**

HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						TOT. PESADO	TOTAL
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3		
10:45 - 11:00	155	8	3	3	1	2	1	0	10	173
11:00 - 11:15	152	5	4	1	1	2	0	0	8	165
11:15 - 11:30	146	8	3	1	2	0	0	0	6	160
11:30 - 11:45	165	8	0	1	0	1	0	0	2	175
<b>PARCIAL</b>	618	29	10	6	4	5	1	0	26	673
<b>%30ava Hora</b>	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
<b>TPDA</b>	6180	290	100	60	40	50	10	0	260	6730

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

- **Livianos**

$$T.P.D.A_{actual} = \frac{\Sigma Parcial}{10\%} = \frac{618}{0.10}$$

$$T.P.D.A_{actual} = 6180 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Buses**

$$T.P.D.A_{actual} = \frac{\Sigma Parcial}{10\%} = \frac{29}{0.10}$$

$$T.P.D.A_{actual} = 290 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Pesado**

$$T.P.D.A_{actual} = \frac{\Sigma Parcial}{10\%} = \frac{26}{0.10}$$

$$T.P.D.A_{actual} = 260 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

### 3.1.11.3. C\u00e1lculo de Tr\u00e1fico Futuro (Tf)

Los vol\u00fmenes de tr\u00e1nsito futuro, se derivan a partir del tr\u00e1nsito actual y del aumento del tr\u00e1nsito, esperado al final del periodo o a\u00f1o meta seleccionado, este tiempo de proyecci\u00f3n puede ser de 10 a 20 a\u00f1os en tal enlace con la vida \u00fatil de la v\u00eda para la que se est\u00e1 programando.

#### 3.1.11.3.1. Proyecci\u00f3n de tr\u00e1fico futuro

La proyecci\u00f3n del Tf ser\u00e1 de 20 a\u00f1os ya que dicho an\u00e1lisis de tr\u00e1fico se bas\u00f3 en una avenida existente.

#### 3.1.11.3.2. Tr\u00e1fico atra\u00eddo (Ta)

Es el que se desviar\u00e1 de otras v\u00edas hacia la nueva. Este tr\u00e1nsito se establece en torno al patrimonio de tiempo que ofrece el nuevo servicio. Se tomar\u00e1 equivalente al 10% de T.P.D.A

$$Ta = 10\% \text{ de } T.P.D.A$$

- **Livianos**

$$T.A_{actual} = 10\% \text{ de } 6180$$

$$T.A_{actual} = 618 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Buses**

$$T.A_{actual} = 10\% \text{ de } 290$$

$$T.A_{actual} = 29 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Pesados**

$$T.A_{actual} = 10\% \text{ de } 260$$

$$T.A_{actual} = 26 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

### 3.1.11.3.3. Tr\u00e1fico Generado (Tg)

El tr\u00e1nsito generado consiste en aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte p\u00fablico, que no se realizar\u00edan si no se construyera la nueva carretera. [30]

El tr\u00e1nsito generado se tomar\u00e1 entre el 5% y 25% del tr\u00e1nsito actual (Ta) despu\u00e9s de 1 a 2 a\u00f1os de la habilitaci\u00f3n de la v\u00eda.

$$Tg = 25\% * T.P.D.A$$

- **Livianos**

$$T.g_{generado} = 25\% \text{ de } 6180$$

$$T.g_{generado} = 1545 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Buses**

$$T.g_{generado} = 25\% \text{ de } 290$$

$$T.g_{generado} = 73 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Pesados**

$$T.g_{generado} = 25\% \text{ de } 260$$

$$T.g_{generado} = 65 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$



#### 3.1.11.3.4. Tráfico por Desarrollo (Td)

Es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. [30] El tráfico por desarrollo se tom el 5% del T.P.D.A.

$$Td = 5\% * TPDA$$

- **Livianos**

$$Td_{livianos} = 5\% * 6180$$

$$T.D = 309 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Buses**

$$Td_{livianos} = 5\% * 290$$

$$T.D = 15 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Pesados**

$$Td_{livianos} = 5\% * 260$$

$$T.D = 13 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

#### 3.1.11.3.5. Tráfico Actual (Tal)

El tráfico actual resulta al sumar el tráfico promedio diario actual (T.P.D.A), el tráfico atraído (Ta), el tráfico generado (Tg) y el tráfico por desarrollo (Td) como se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla 58. Tráfico Actual**

TRÁFICO	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						TOT. PESADO
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3	
T.P.D.A	6180	290	100	60	40	50	10	0	260
T. Atraído	618	29	10	6	4	5	1	0	26
T. Generado	1545	73	25	15	10	13	3	0	65
T. Desarrollo	309	15	5	3	2	3	1	0	13
Tráfico Actual	8652	407	140	84	56	70	14	0	364

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### 3.1.11.3.6. Tráfico Futuro

Para el cálculo del tráfico futuro es necesario basarse en el tráfico actual, así como también en el aumento de tránsito que se predice de acuerdo a las tasas de crecimiento poblacional en un período de proyección explícito (e), para lo cual se enuncia la siguiente expresión:

$$T.f = Tal * (1 + i)^e$$

*T.f = tráfico futuro*

*Tal = tráfico actual*

*i = índice de crecimiento vehicular*

*e = período de proyección en años*

**Tabla 59. Índice de Crecimiento Vehicular**

PERÍODO	TIPOS DE VEHÍCULOS		
	LIVIANOS	BUSES	PESADOS
2015 al 2020	3.44	1.17	2.90
2020 al 2025	3.10	1.05	2.61
2025 al 2030	2.82	0.96	2.38
2030 al 2035	2.82	0.96	2.38
2035 al 2040	2.82	0.96	2.38
2040 al 2045	2.82	0.96	2.38

**Fuente:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas, MTOP 2015

- **Livianos**

$$T.f_{livianos} = 8652 * (1 + 0.0282)^{20}$$

$$T.f = 15090 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Buses**

$$Tf_{buses} = 407 * (1 + 0.0096)^{20}$$

$$T.f = 493 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- **Pesados**

$$Tf_{pesados} = 364 * (1 + 0.0238)^{20}$$

$$T.f = 583 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

**Tr\u00e1fico Futuro Total:**

$$T.f_{total} = (15090 + 493 + 583) \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

$$T.f_{total} = 16166 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

**3.1.11.4. Factor de Da\u00f1o (FD)**

El factor de da\u00f1o permite ponderar los efectos que causan en el pavimento debido a las cargas de los veh\u00edculos principalmente pesados los cuales transitan sobre \u00e9ste tomando en consideraci\u00f3n cada eje del veh\u00edculo.

**Tabla 60. Factor de Da\u00f1o**

FACTOR DE DA\u00d1O DE VEHICULOS PESADOS									
TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		TRIDEM		FACTOR DA\u00d1O
	Ton	(P/6,6)^4	Ton	(P/8,2)^4	Ton	(P/15)^4	Ton	(P/23)^4	
BUS	4	0.14	8	0.91					1.05
2D	3	0.04							0.18
	4	0.14							
2DA	3	0.04	7	0.53					0.57
2DB	7	1.27	11	3.24					4.5
3A	7	1.27			20	3.16			4.43
4C	7	1.27					24	1.19	2.45
3S2	7	1.27			20	6.32			7.59

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### 3.1.11.5. Ejes Equivalentes

Se comprende como el eje equivalente a la cantidad total acumulada de ejes simples Equivalentes a 8.2 Toneladas para un período de diseño establecido. El hallazgo del Eje Equivalente es el paso subsiguiente más importante en el plan de estructural de un pavimento. [31]

Se procede a calcular el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton, mediante la siguiente fórmula, establecida por la AASHTO-93:

$$W_{18} = T.P.D. A_{final} * F.D * 365$$

$W_{18}$  = Número de ejes equivalentes

$T.P.D.A$  = Tránsito promedio diario anual establecido para el período de diseño

$F.D$  = Factor de daño

#### 3.1.11.5.1. Ejes Equivalentes Futuro $W_{18}$

$$W_{18-2044} = T.P.D.A_{2044} * F.D * 365$$

$$W_{18-2044} = ((493 * 1.05) + (224 * 0.57) + (134 * 4.5) + (90 * 4.43) + (112 * 2.45) + (22 * 7.59)) * 365$$

$$W_{18-2044} = 762270$$

$$W_{18-2045} = W_{18-2044} + W_{18-acumulado}$$

$$W_{18-2045} = 762270 + 14098515$$

$$W_{18-2045} = 14860785$$

#### 3.1.11.5.2. Factor de distribución por dirección

Al haber trabajado en una vía de dos direcciones tanto de ida, como de regreso, se considerará el 50% del  $W_{18}$  para cada dirección respectivamente. [32]

#### 3.1.11.5.3. Factor de distribución por carril

Para una carretera se puede tener varios carriles en una sola dirección, por lo que se considera tomar un porcentaje adecuado de vehículos por carril como se muestra lo siguiente: [32]

**Tabla 61. Factor de distribución por carril**

CARRIL	%
1	100
2	80 al 100
3	60 al 80
4 o más	50 al 75

**Fuente:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas, MTOP 2015

Para este análisis, se denota un carril para cada dirección por lo que se toma el 100% a lo que corresponde el carril de diseño tal como se muestra a continuación

**Tabla 62. Ejes Equivalentes**

AÑO	ÍNDICE DE CRECIMIENTO (%)			TRÁFICO FUTURO							W18 Acumulado	W18 Por Sentido	W18 Carril diseño	
				Livianos	Buses	TRÁFICO PESADO								TPDA TOTAL
	Livianos	Buses	2DA			2DB	3A	4C	3s2					
2022	3.1	1.05	2.61	8652	407	140	84	56	70	14	9423	515011	257506	257506
2023	3.1	1.05	2.61	8920	411	144	86	57	72	14	9705	1041031	520516	520516
2024	3.1	1.05	2.61	9197	416	147	88	59	74	15	9996	1578321	789161	789161
2025	3.1	1.05	2.61	9482	420	151	91	61	76	15	10295	2127150	1063575	1063575
2026	2.82	0.96	2.38	9749	424	155	93	62	77	15	10576	2686755	1343378	1343378
2027	2.82	0.96	2.38	10024	428	159	95	63	79	16	10864	3257372	1628686	1628686
2028	2.82	0.96	2.38	10307	432	162	97	65	81	16	11161	3839239	1919620	1919620
2029	2.82	0.96	2.38	10597	436	166	100	66	83	17	11466	4432603	2216302	2216302
2030	2.82	0.96	2.38	10896	441	170	102	68	85	17	11779	5037715	2518858	2518858
2031	2.82	0.96	2.38	11204	445	174	105	70	87	17	12101	5654831	2827416	2827416
2032	2.82	0.96	2.38	11520	449	178	107	71	89	18	12432	6284214	3142107	3142107
2033	2.82	0.96	2.38	11844	453	183	110	73	91	18	12772	6926133	3463067	3463067
2034	2.82	0.96	2.38	12178	458	187	112	75	93	19	13122	7580863	3790431	3790431
2035	2.82	0.96	2.38	12522	462	191	115	77	96	19	13481	8248684	4124342	4124342
2036	2.82	0.96	2.38	12875	466	196	118	78	98	20	13851	8929885	4464943	4464943
2037	2.82	0.96	2.38	13238	471	201	120	80	100	20	14231	9624760	4812380	4812380
2038	2.82	0.96	2.38	13611	475	205	123	82	103	21	14621	10333610	5166805	5166805
2039	2.82	0.96	2.38	13995	480	210	126	84	105	21	15022	11056743	5528371	5528371
2040	2.82	0.96	2.38	14390	485	215	129	86	108	22	15434	11794473	5897237	5897237
2041	2.82	0.96	2.38	14796	489	220	132	88	110	22	15858	12547125	6273562	6273562
2042	2.82	0.96	2.38	15213	494	226	135	90	113	23	16293	13315026	6657513	6657513
2043	2.82	0.96	2.38	15642	499	231	139	92	115	23	16741	14098515	7049257	7049257
<b>2044</b>	<b>2.82</b>	<b>0.96</b>	<b>2.38</b>	<b>16083</b>	<b>504</b>	<b>236</b>	<b>142</b>	<b>95</b>	<b>118</b>	<b>24</b>	<b>17201</b>	<b>14897936</b>	<b>7448968</b>	<b>7448968</b>

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

### **3.1.12. Diseño pavimento flexible según el método AASHTO 93 con mezclas asfálticas sin modificar y modificadas.**

Por consiguiente, se realiza el boceto de dos pavimentos flexibles de acuerdo a la metodología que plantea AASHTO 93, en el primer diseño se lo trabaja para pára mezclas asfálticas sin modificar, es decir sin ningún porcentaje de adición de PET/PE/PP y a su vez el segundo diseño corresponde en mezclas asfálticas modificadas con un determinado porcentaje de PET/PE/PP.

Dicho diseño se lo realiza para el suelo proveniente de la parroquia de Izamba, entre las calles Cesar Augusto Salazar y Dr. Julio Castillo Jácome, ya que en la mayoría de carpeta asfáltica se conforma por agrietamientos y daños a su estructura.

Tomando como CBR de diseño un 10% como valor mínimo.

#### **3.1.12.1. Datos iniciales para el diseño del Pavimento**

##### **3.1.12.1.1. Fórmula de Diseño del pavimento según la AASHTO 93**

La AASHTO plantea una fórmula para establecer el espesor del pavimento flexible y de sus capas basándose no sólo datos sino en algunos coeficientes los cuales permiten establecer el pavimento con un nivel apropiado en cuanto al peligro obteniendo así dicha expresión:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(S.N + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(\Delta P.S.I)}{0.40 + \frac{1094}{(S.N + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

W18 = Número de aplicaciones de cargas de 80 kn.

Mr = Módulo resiliente de la subrasante.

Zr = Abscisa que alberga a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución en estado normal.

S.N = Número estructural obtenido.

ΔP.S.I = Pérdida de serviciabilidad antes vistas en el diseño.

So = Desvío estándar de las variables.

#### **3.1.12.1.2. Período de Análisis**

El período de análisis que se ha optado es de n: 20 años debido a que el análisis se lleva a cabo dentro de una carretera urbana ya existente.

#### **3.1.12.1.3. Ejes Equivalentes**

Dentro del cálculo de ejes equivalentes según la normativa AASHTO 93 se tiene para la realización de este proyecto un valor de 7448968 para el carril de diseño.

#### **3.1.12.1.4. Confiabilidad**

Es de suma importancia que dentro del diseño del pavimento se ubique un nivel adecuado de confiabilidad en contraste al uso que se le dará al pavimento, con el fin de tener una relación precisa tanto con el costo inicial del pavimento, su índice de serviciabilidad y a su vez los costos de reparación los cuales se requieran.

Por consiguiente, se presentan las tablas propuestas por la AASHTO, donde se denota los valores para alcanzar los niveles de confiabilidad según el tipo y funcionalidad de vía, así como los datos seleccionados para el diseño de acuerdo a los datos para este proyecto:



**Tabla 63. Nivel de Confiabilidad**

TIPO DE CAMINO	CONFIABILIDAD RECOMENDADA	
	ZONA URBANA	ZONA RURAL
Rutas interestatales y autopistas	85 a 99.9	80 a 99.9.
Arterias Principales	80 a 99	75 a 99
Colectoras	80 a 95	75 a 99
Locales	50 a 80	50 a 80

**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

**Tabla 64. Desviación Estándar Normal**

Nivel de confiabilidad R (%)	50	60	70	75	80	85	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	99.9	99.99
Desviación Estándar Normal Zr	0.000	-0.253	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.340	-1.405	-1.476	-1.555	-1.645	-1.751	-1.881	-2.054	-2.327	-3.090	-3.750

**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

**Tabla 65. Desviación Estándar Global**

Proyecto de Pavimento	So	
	Flexible	Rigido
	0.40 - 0.50	0.30 - 0.40
Construcción Nueva	0.45	0.35
Sobre capas existentes	0.5	0.4

**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

En contraste a la anterior información, se seleccionan los siguientes valores:

Tipo de pavimento será de tipo Flexible

Un nivel de confiabilidad de R% = 90

Una desviación estándar normal de -1.828

Una desviación estándar global sobre capas existentes de 0.5

### 3.1.12.1.5. Índice de Serviciabilidad

El índice de serviciabilidad es conocido como la condición primordial de un pavimento para proveer a los beneficiarios un manejo correcto, seguro y confortable frente a la clase de tráfico

esperado, sus valores rondan entre 0 si no llega a cumplir las condiciones esperadas o 5 si contempla todas las condiciones proyectadas, ubicando así un índice de serviciabilidad inicial como final. [33]

**Tabla 66. Índice de Serviciabilidad**

Tipo de pavimento	Serviciabilidad Inicial	Tipo de Camino	Serviciabilidad Final
Rígido	4.5	Muy importantes	2.5
Flexible	4.2	De menor tránsito	2

**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

$$\Delta P.S.I = P.o - P.f$$

**Donde:**

$\Delta P.S.I$  = Índice de Serviciabilidad

P.o = Serviciabilidad inicial

P.f = Serviciabilidad final

$$\Delta P.S.I = P.o - P.f$$

$$\Delta P.S.I = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta P.S.I = 2.2$$

### 3.1.12.1.6. Coeficiente de Drenaje

El manual de diseño de pavimentos se sugiere tomar en cuenta el tiempo al cual el pavimento se verá expuesto tanto a la humedad como a la pérdida de serviciabilidad debido al hielo y deshielo, así como también a la probabilidad de la expansión que puede darse en las características físicas de la subrasante. [33]

En lo que se refiere al diseño y proyecto será usados dentro de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua se considera que al año en la ciudad existirá una precipitación en un total de 72 días,

donde el agua en lo que comprende a las capas granulares será eliminada en 7 días tentativamente por lo que se considera los siguientes datos de diseño:

**Tabla 67. Calidad de drenaje**

Calidad de drenaje	Agua eliminada
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 Semana
Pobre	1 Mes
Deficiente	agua no drenada

**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93. % días de precipitación =

$$\frac{\text{Número de días}}{365 \text{ días}} \times 100\% = \frac{72 \text{ días}}{365 \text{ días}} \times 100\% = 20\%$$

**Tabla 68. Coeficientes de drenaje (m2) y (m3)**

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1 - 5 %	5 -25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Buena	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.95	0.80 - 0.60	0.6
Deficiente	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

### 3.1.12.1.7. Módulo de resiliencia

Según la correlación con el CBR propuesta por la AASHTO, se tiene las siguientes ecuaciones:

**Establecido por la AASHTO**

$$Mr_{(psi)} = 1500 \times CBR \text{ para } CBR < 10\%$$

**Ecuación desarrollada en Sudáfrica**

$$Mr_{(psi)} = 3000 \times CBR^{0.65} \text{ para } CBR \text{ de } 10\% \text{ a } 20\%$$

**Empleada para suelos granulares AASHTO**

$$Mr_{(psi)} = 4326 \times \ln CBR + 241$$

En este caso los valores de C.B.R son desconocidos con lo cual se lo toma como mínimo el 10% para la realización de este diseño para ambos casos.

**10%**

$$Mr_{(psi)} = 3000 \times CBR^{0.65}$$

$$Mr_{(psi)} = 3000 \times 10^{0.65}$$

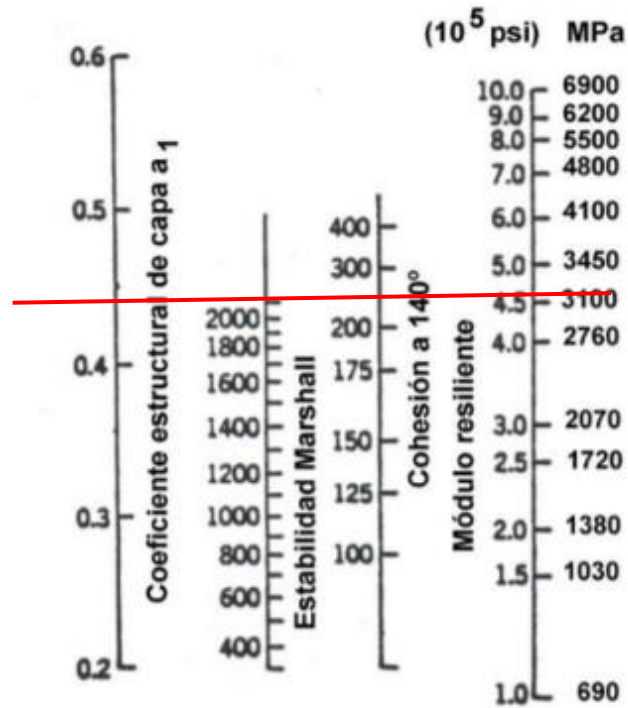
$$Mr_{(psi)} = 13400 \text{ psi} = 13.40 \text{ ksi}$$

#### **3.1.12.1.8. Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)**

Para hallar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica con nomenclatura a1, emplea la Estabilidad Marshall en libras obtenida en laboratorio.

Al ser ensayado en laboratorio, se obtuvo como valor máximo de estabilidad de 3253 lb para una mezcla asfáltica sin modificar, en contraste a una mezcla asfáltica modificada con 12% con una estabilidad mínima de 1235 lb.

**Figura 70. Coeficientes estructurales para la carpeta asfáltica relacionada con varios ensayos para mezcla asfáltica sin modificar**

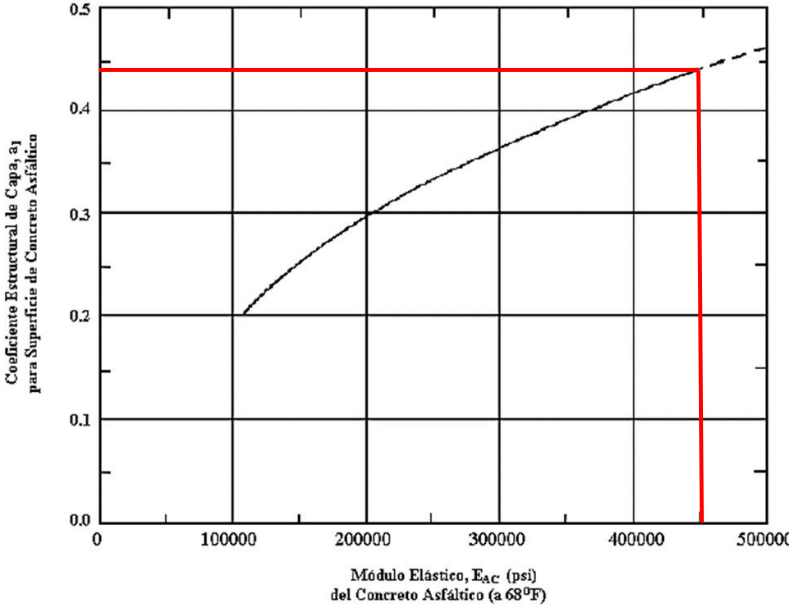


**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

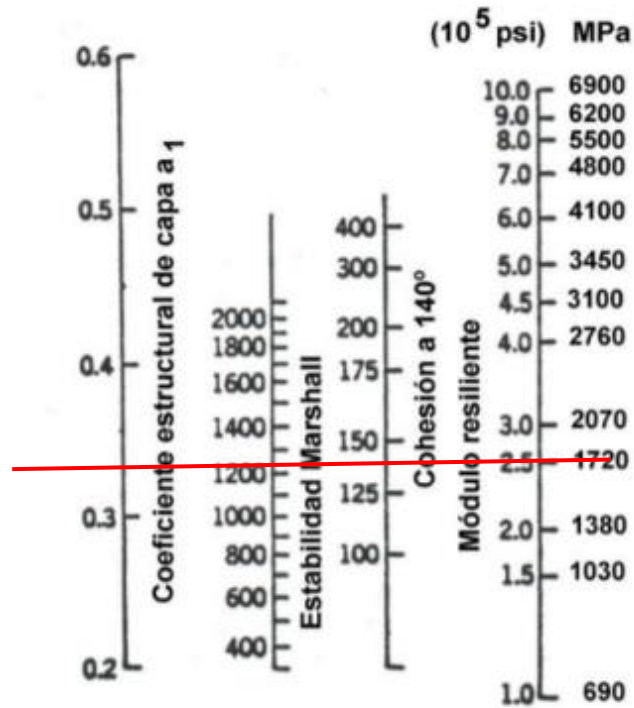
La Estabilidad Marshall que se tiene es de 3253 lb, por lo cual se toma el máximo valor de estabilidad establecida por los criterios de diseño para mezclas Marshall el cual será de 2200 lb, obteniendo un coeficiente estructural a<sub>1</sub> de 0.44 y un módulo resiliente de 460000 psi (460 ksi).

Se aplica la siguiente corrección para el módulo de resiliencia, en función del coeficiente estructural con la ayuda de la gráfica N.º 71, obteniendo así un valor de 455000 psi (455 ksi)

**Figura 71 Correlación entre el Coeficiente Estructural de Capa (a1) vs Módulo Elástico del concreto asfáltico (a 68 F°)**



**Figura 72. Coeficientes estructurales para la carpeta asfáltica relacionada con varios ensayos para mezcla asfáltica modificada**

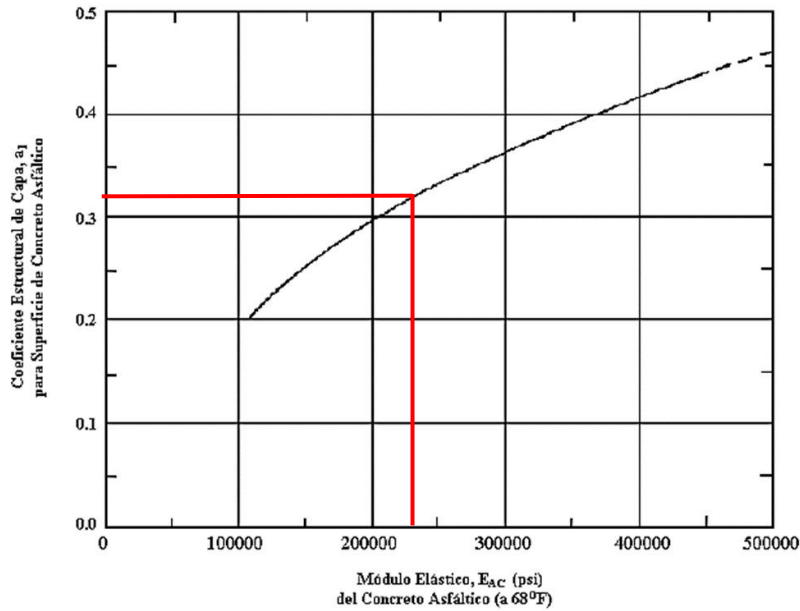


**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

La Estabilidad Marshall que se tiene es de 1235 lb, obteniendo un coeficiente estructural a<sub>1</sub> de 0.32 y un módulo resiliente de 250000 psi (250 ksi).

Se aplica la siguiente corrección para el módulo de resiliencia, en función del coeficiente estructural con la ayuda de la gráfica N.º 71, obteniendo así un valor de 235000 psi (235 ksi)

**Figura 73 Correlación entre el Coeficiente Estructural de Capa (a1) vs Módulo Elástico del concreto asfáltico (a 68 F°)**

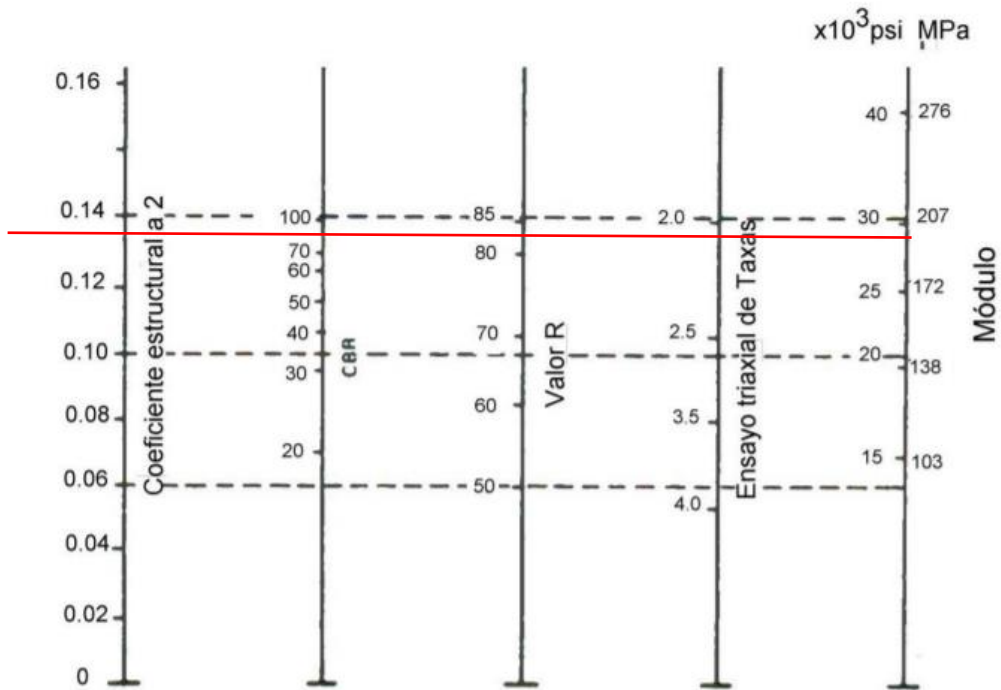


### 3.1.12.1.9. Coeficiente estructural de la base granular (a2)

Acorde con la MTOP y sus detalles, se aconseja que el CBR mínimo para base es 80%, en este caso se toma una base de clase 2 donde 50% del material es cribado, al tener un valor de TPDA de 16166 que ronda entre 8000 y 50000 se estimara un valor de CBR de 90%. [34]



**Figura 74. Coeficiente estructural para la base relacionada con varios ensayos**



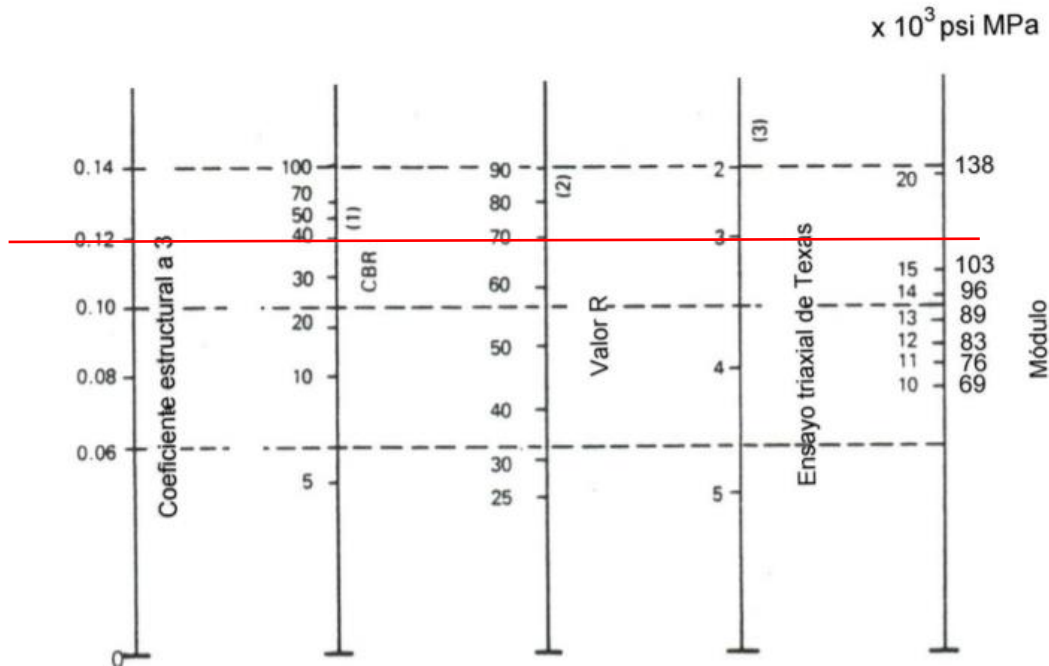
**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

El coeficiente estructural  $a_2$  es de 0.135 y su módulo resiliente es de 29000 psi (29 ksi).

### 3.1.12.1.10. Coeficiente estructural de la subbase granular ( $a_3$ )

De acuerdo con la MTOP se recomienda que el CBR mínimo para una subbase sea de 30%, en este caso se toma el valor de CBR de 40%, en base al TPDA del proyecto estimado.

**Figura 75. Coeficiente estructural para la subbase granular relacionada con distintos parámetros resistentes**



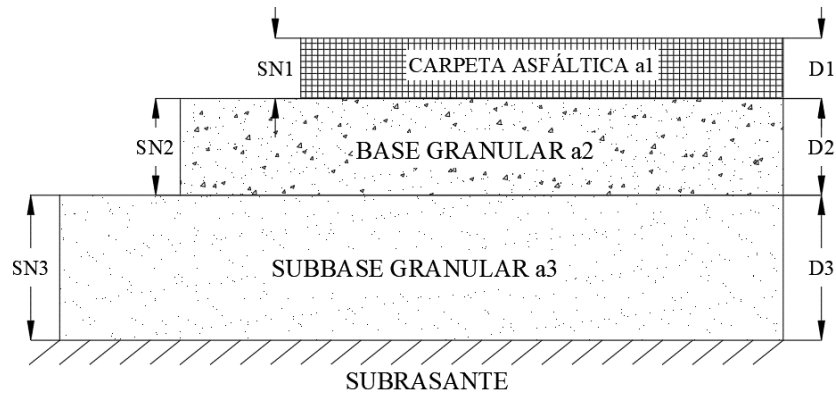
**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

El coeficiente estructural de la subbase granular  $a_3$  es de 0.12 y se obtuvo su módulo resiliente es de 17000 psi (17 ksi).

### 3.1.12.1.11. Número Estructural – $S_n$

El número estructural o  $S_n$  se alude al valor del espesor total que requiere la estructura del pavimento para tolerar las cargas y a su vez las sollicitaciones pedidas tomando en cuenta los parámetros encontrados con anterioridad como lo son el tránsito, el módulo de resiliencia, el índice de confiabilidad, la desviación estándar y el índice de serviciabilidad aplicados a la fórmula propuesta por la AASHTO 93 determinando así con todos los datos obtenidos los espesores de cada capa. [33]

**Figura 76. Estructura del pavimento flexible**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

$$S_n = S_{n_1} + S_{n_2} + S_{n_3}$$

$$S_n = (a_1 * e_1) + (a_2 * e_2 * m_2) + (a_3 * e_3 * m_3)$$

Donde:

$$a_1, a_2, a_3$$

Coefficientes estructurales de la carpeta, base y subbase respectivamente.

$$e_1, e_2, e_3$$

Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente.

$$m_2 \text{ y } m_3$$

Coefficientes de drenaje para base y subbase respectivamente.

Para establecer los espesores  $e_1$  y  $e_2$  en plg, se recomienda tomar los valores mínimos los cuales se presentan a continuación basándose en el valor de ejes equivalentes sencillos acumulados  $W_{18}$  previo calculado. Para este proyecto se obtuvo un valor para de 7448968.

**Tabla 69. Espesores mínimos en base al tráfico**

Tráfico W18	Concreto asfáltico, e1	Base granular, e2
< 50000	2.5 cm	10 cm
50000 - 150000	5.0 cm	10 cm
150000 - 500000	6.5 cm	10 cm
500000 - 2000000	7.5 cm	15 cm
2000000- 7000000	9.0 cm	15 cm
>7000000	10.0 cm	15 cm

**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

Al tener un valor de  $W_{18} > 7000000$  se tiene un espesor mínimo para la carpeta asfáltica  $e_1$  de 10.0 cm y para la base granular un espesor mínimo  $e_2$  de 15 cm.

### **3.1.12.2. Diseño del pavimento flexible con mezclas asfálticas sin modificar**

Para el primer diseño del pavimento flexible con mezclas asfálticas tradicionales se usa como método de cálculo, la programación de una hoja de cálculo en el programa Excel en base al diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO 93 y a su vez la utilización de un programa para el cálculo del  $S_n$  por la AASHTO 93.

**Tabla 70. Parámetros para el Diseño 1**

<b>DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE</b>	
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>VALORES</b>
Periodo de diseño	20 años
Ejes equivalentes	7448968
Nivel de Confiabilidad	90
Desviación Estándar Normal	-1.282
Desviación Estándar Global	0.5
Serviciabilidad Inicial	4.2
Serviciabilidad Final	2.0
Coefficiente de drenaje base (m2)	0.9
Coefficiente de drenaje Subbase (m3)	0.9
CBR de la Subrasante	10%
Módulo de Resiliente de la Subrasante (ksi)	13.4
Coefficiente Estructural de la Carpeta Asfáltica	0.32
Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica	460 ksi
Coefficiente Estructural de la Base	0.135
Módulo de Elasticidad de la Base	29.00
Coefficiente Estructural de la Subbase	0.12
Módulo de Elasticidad de la Subbase	17.00

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

**Figura 77. Diseño de Pavimento 1 y 2, programa AASHTO-93**

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
90 %  $Z_r = -1.282$  So 0.5

Serviciabilidad inicial y final  
PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante  
Mr 13400 psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =** 7448968  
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN =** 3.75

Calcular Salir

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

El programa da un valor de 3.75 para el número estructural (SN) el cual se mantiene para ambos diseños ya que el CBR subrasante es el mismo.

**Tabla 71. Diseño de Pavimento Flexible 1 - AASHTO 93**

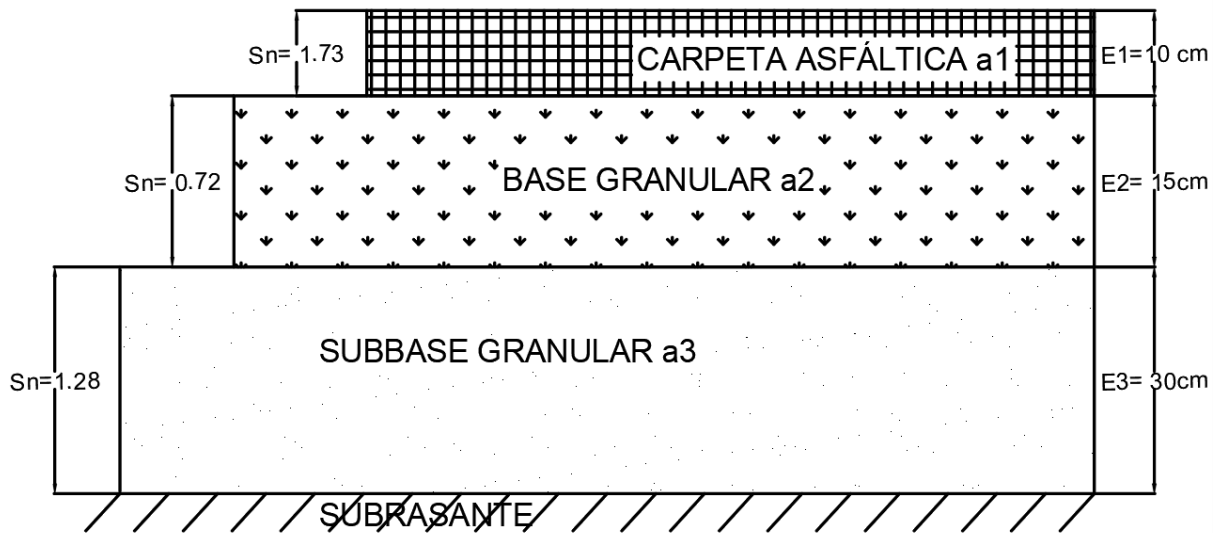
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA (ksi)			455.00
B. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			29.00
C. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			17.00
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			7,448,968
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			90%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)			-1.282
DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			13.40
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACIÓN DEL REFUERZO</b>			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0.440
Base granular (a <sub>2</sub> )			0.135
Subbase (a <sub>3</sub> )			0.120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m <sub>2</sub> )			0.900
Subbase (m <sub>3</sub> )			0.900
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	<b>3.66</b>		
NÚMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFÁLTICA (SN <sub>CA</sub> )	<b>2.80</b>		
NÚMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	<b>0.58</b>		
NÚMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	<b>0.28</b>		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	TEORICO	<b>ESPESOR</b>	<b>SN*</b>
ESPESOR CARPETA ASFÁLTICA (cm)	16.2 cm	<b>10.0 cm</b>	1.73
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	12.1 cm	<b>15.0 cm</b>	0.72
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	6.6 cm	<b>30.0 cm</b>	1.28
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>55.0 cm</b>	<b>3.73</b>
DISEÑADO POR : <i>Shumacher Duvalier Gavilanes Loor</i>			

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

Los espesores calculados de cada capa de la estructura del pavimento para el suelo de subrasante en estado natural de la parroquia Izamba con un CBR de 10% son:

- Carpeta Asfáltica: 10 cm
- Base Granular: 15 cm
- Subbase Granular: 30 cm

**Figura 78. Diseño de Pavimento Flexible 1**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### 3.1.12.3. Diseño del pavimento flexible con mezclas asfálticas modificadas

Para el segundo diseño del pavimento flexible con mezclas asfálticas tradicionales se usa como método de cálculo, la programación de una hoja de cálculo en el programa Excel en base al diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO 93 y a su vez la utilización de un programa para el cálculo del  $S_n$  por la AASHTO 93.



**Tabla 72. Parámetros para el Diseño 2 Pavimento Flexible**

<b>DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE</b>	
<b>PARAMETOS DE DISEÑO</b>	<b>VALORES</b>
Periodo de diseño	20 años
Ejes equivalentes	7448968
Nivel de Confiabilidad	90
Desviacion Estandar Normal	-1.282
Desviacion Estandar Global	0.5
Serviciabilidad Inicial	4.2
Serviciabilidad Final	2.0
Coeficiente de drenaje base (m2)	0.9
Coeficiente de drenaje Subbase (m3)	0.9
CBR de la Subrasante	10%
Modulo de Resiliente de la Subrasante (ksi)	13.4
Coeficiente Estructural de la Carpeta Asfáltica	0.32
Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica (ksi)	235
Coeficiente Estructural de la Base	0.135
Módulo de Elasticidad de la Base (ksi)	29.00
Coeficiente Estructural de la Subbase	0.12
Módulo de Elasticidad de la Subbase (ksi)	17.00

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Tabla 73. Diseño de Pavimento Flexible 2 - AASHTO 93**

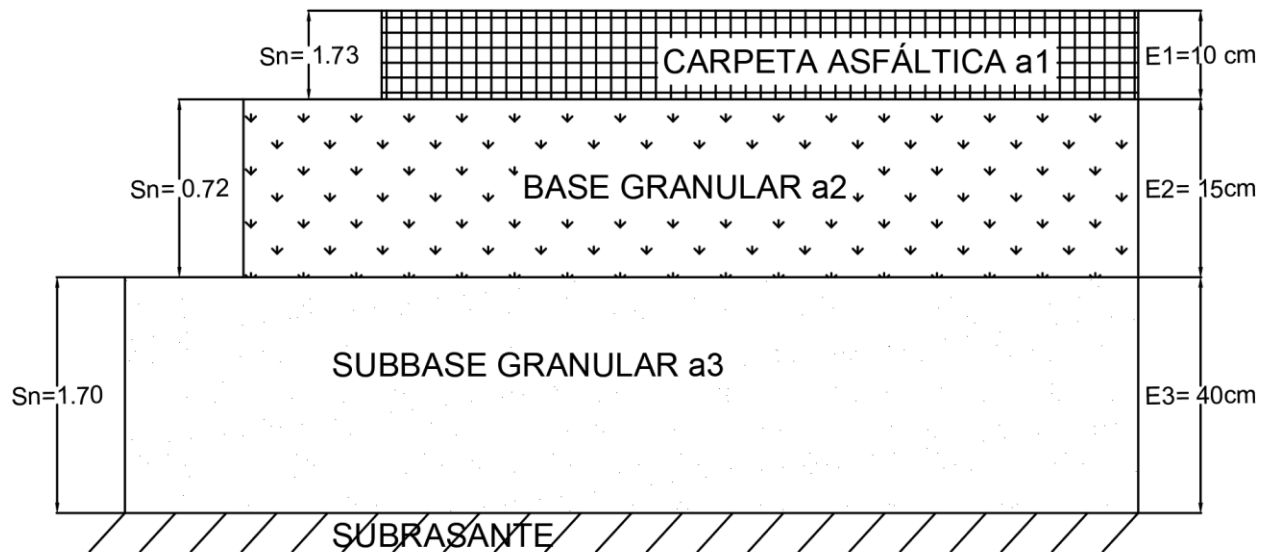
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA (ksi)			235.00
B. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			29.00
C. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			17.00
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			7,448,968
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			90%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)			-1.282
DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			13.40
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0.320
Base granular (a <sub>2</sub> )			0.135
Subbase (a <sub>3</sub> )			0.120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m <sub>2</sub> )			0.900
Subbase (m <sub>3</sub> )			0.900
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )		<b>3.66</b>	
NÚMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFÁLTICA (SN <sub>CA</sub> )		<b>2.80</b>	
NÚMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )		<b>0.58</b>	
NÚMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )		<b>0.28</b>	
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFÁLTICA (cm)	22.2 cm	<b>10.0 cm</b>	1.26
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	12.1 cm	<b>15.0 cm</b>	0.72
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	6.6 cm	<b>40.0 cm</b>	1.70
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>65.0 cm</b>	<b>3.68</b>
<b>DISEÑADO POR : Shumacher Duvalier Gavilanes Loor</b>			

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

Los espesores calculados de cada capa de la estructura del pavimento para el suelo de subrasante en estado natural de la parroquia Izamba con un CBR de 10% son:

- Carpeta Asfáltica: 10 cm
- Base Granular: 15 cm
- Subbase Granular: 40 cm

**Figura 79. Diseño de Pavimento Flexible 2**



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

#### 3.1.12.4. Análisis del Diseño del Pavimento

Mediante los datos recabados de diseño, se tiene una diferencia entre los espesores de las subbases granulares como se muestra a continuación:

**Tabla 74. Espesores de las capas del pavimento**

Capas del pavimento	Diseño 1	Diseño 2
Carpeta asfáltica	10 cm	10 cm
Base granular	15 cm	15 cm
Subbase granular	30 cm	40 cm
Espesor total	55 cm	65 cm

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

Con los espesores obtenidos de cada capa de la estructura del pavimento flexible tanto para el diseño 1 que se trata del suelo de subrasante en estado natural, como para el diseño 2 con suelo de subrasante modificada al incorporarse PET/PE/PP emulsiones asfálticas, se aprecia una reducción en el espesor de la subbase granular, donde se tiene una aumento total de 10 cm de espesor de la estructura del pavimento con respecto al primer diseño.

### **3.2. Verificación de la Hipótesis**

Una vez que se realizaron todos los ensayos y los diseños pertinentes tanto a los agregados como a las probetas de las mezclas asfálticas con la adición de PET/PE/PP y diseño de pavimento flexible para ambos casos (mezclas asfálticas modificadas y sin modificar) analizados los resultados se comprobó que la adición de dicho polímero disminuyó sus propiedades y no mejoro en gran porcentaje sus propiedades físico mecánicas, pero sus valores cumplen con los establecidos en norma para diseños de mezclas asfálticas.

De manera contraria, al incrementar el porcentaje de PET/PE/PP en la mezcla asfáltica la estabilidad empezó a disminuir y los valores de flujo a disminuir.

La hipótesis planteada, donde el diseño de pavimento flexible con mezclas asfálticas modificada con polímero (PET/PE/PP), mejoró la flexibilidad y estabilidad para tráfico Medio y liviano con ello es ambientalmente amigable debido a su reutilización, pero dichos ensayos fueron realizados para un tráfico pesado con lo cual no hubo resultados positivos para la verificación de esta hipótesis.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- 4.1.1. En conclusión, los ensayos elaborados a los agregados tanto gruesos como finos demostraron que poseen una buena composición por lo tanto son aptos para el uso en mezclas asfálticas al cumplir con todas las especificaciones y la normativa correspondiente en cada uno de los ensayos realizados en esta investigación.
- 4.1.2. Al tratarse de una mezcla asfáltica en frío y poco porosa se utilizó una granulometría que consiste en un 50% de agregado grueso y 50% de agregado fino por lo que es necesario menor contenido de asfalto dando un valor óptimo del 16% al 18%.
- 4.1.3. Se determinó que la estabilidad máxima alcanzada de las mezclas asfálticas ensayadas es de 3253 lb que corresponde a la mezcla sin la adición de polímero.
- 4.1.4. Se determinó que la estabilidad máxima alcanzada de las mezclas asfálticas ensayadas es de 1635 lb que corresponde a la mezcla de 3% de PET/PE/PP añadido. Mientras que la estabilidad mínima de las mezclas asfálticas ensayadas es de 1253 lb que corresponde a la mezcla de 12% de PET/PE/PP añadido.
- 4.1.5. Analizados los resultados de los ensayos realizados en laboratorio en mezclas asfálticas tanto convencionales como con adición de PET/PE/PP se determinó que para la mezcla asfáltica convencional la dosificación que presenta mejor comportamiento es de 17.7% de emulsión asfáltica, con 0% de PET/PE/PP.
- 4.1.6. Con respecto al polímero añadido, se determinó que el PET/PE/PP llega a ocupar la porción del volumen de vacíos entre las partículas de agregado el cual debería ser ocupado por el asfalto efectivo.

- 4.1.7.** Dado la elaboración de las briquetas con porcentaje de emulsión asfáltica del 14%, 16%, 18% y 20% y adición de PET/PE/PP de 3% se concluyó que el porcentaje mínimo requerido de cemento asfáltico es de 16.2%.
- 4.1.8.** Se determinó que no es favorable la utilización de PET/PE/PP en pavimentos flexibles de tráfico pesado, debido a que no cumplen los requisitos mínimos de estabilidad y flujo, de acuerdo a las especificaciones ecuatorianas del MTOP-2012.
- 4.1.9.** Se determinó que es favorable la utilización de PET/PE/PP en pavimentos flexibles de tráfico medio y liviano, debido a que, si cumplen los requisitos mínimos de estabilidad y flujo, de acuerdo a las especificaciones ecuatorianas del MTOP-2012.
- 4.1.10.** Por lo tanto, se puede concluir que la utilización de partículas PET/PE/PP, cumple los requisitos de estabilidad y flujo para mezclas asfálticas en frío en carpetas asfálticas que reciban un tráfico bajo a medio, por lo que se podría utilizar el material plástico triturado, como alternativa para el reciclaje en la construcción de pavimentos.
- 4.1.11.** En el diseño de pavimentos flexibles se calculó los espesores de la estructura del pavimento de 5 cm para carpeta asfáltica, 15 cm para base y 30 cm para subbase, utilizando la estabilidad de la mezcla sin modificar. Los espesores de la estructura de pavimento utilizando el valor mínimo de estabilidad de mezclas asfálticas modificadas con PET/PE/PP fueron 5 cm para carpeta asfáltica, 15 cm para base y 40 cm para subbase.

## **4.2.Recomendaciones**

- 4.2.1.** Se recomienda la realización de los ensayos a los agregados a ser intervenidos en la elaboración de mezclas asfálticas para estar al tanto de su calidad, propiedades, características y por su puesto comprobar si cumplen con los requerimientos necesarios para ser utilizados.

- 4.2.2.** Para la elaboración de las briquetas se recomienda controlar las temperaturas especificadas en norma tanto su calentamiento de los equipos y su metodología al ser ensayadas.
- 4.2.3.** Para la elaboración de las briquetas se recomienda controlar el correcto uso de los equipos tanto de compactación y almacenaje de muestras.
- 4.2.4.** Es necesario compactar las briquetas a ensayar con el número de golpes requerido según las especificaciones del tema de investigación a realizarse, conjunto con el procedimiento descrito en la normativa del Ensayo Marshall.
- 4.2.5.** Es recomendable realizar una cantidad mayor de ensayos con diferentes contenidos de PET/PE/PP que los utilizados en esta investigación con el fin de evaluar y analizar, si se obtienen mejores que con los porcentajes ensayados.

## 5. Bibliografía

- [1] E. P. D. JOSÉ EDILSON FORIGUA ORJUELA, «epository.ucatolica.,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2575/1/Dise%C3%B1o-mezclas-asf%C3%A1lticas-modificadas-adici%C3%B3n-desperdicios-pl%C3%A1sticos.pdf>.
- [2] T. M. D. A. Quispe Castro Edgar Daniel, «repositorioacademico.upc.,» 10 Marzo 202. [En línea]. Available: [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652833/Quispe\\_CE.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652833/Quispe_CE.pdf?sequence=3&isAllowed=y). [Último acceso: 19 Junio 2022].
- [3] O. Moses, «The use of polyethylene terephthalate waste for modifying asphalt concrete using the Marshall test.,» *Slovak Journal of Civil Engineering*, vol. 2, n° 27, pp. 9-15, 2019.
- [4] E. R. H. V. D. & A. L. Rodríguez, «Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el cbr de un material granular tipo subbase,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 9, n° 5, pp. 21-30, 2006.
- [5] H. B. G. G. J. H. C. J. D. C. R. Patricio Romero Flores, «DISEÑO DE UN PAVIMENTOS FLEXIBLE ADICIONANDO,» 2018. [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/38661/LopezSabogalJuanCarlos2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 19 Abril 2022].
- [6] E. H. O. M. L. K. M. S. Eduardo Humberto Ortiz Hernández, «COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE UN DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y EL USO DE POLÍMEROS EN LA CARRETERA TOSAGUA,» *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA*, vol. I, n° 1, pp. 107-114.
- [7] E. D. -. T. M. D. A. Quispe Castro, «repositorioacademico.upc.edu,» 10 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652833>. [Último acceso: 26 Agosto 2021].
- [8] «reenpeace,» [En línea]. Available: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>. [Último acceso: 19 Junio 2022].
- [9] E. P. D. JOSÉ EDILSON FORIGUA ORJUELA, «epository.ucatolica.edu.co,» 2014. [En línea]. Available:



<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2575/1/Dise%C3%B1o-mezclas-asf%C3%A1lticas-modificadas-adici%C3%B3n-desperdicios-pl%C3%A1sticos.pdf>.  
[Último acceso: 19 Junio 2022].

- [10] J. Entiquez Bravo y C. H. Moncayo Chamorro, Caracterización física de los agregados pétreos de la Cnatera agresuir vereda San jose del municipio de funes, departamento de nariño y obtención del porcentaje optimo de asfalto para el diseño de la mezcla asfáltica mediante el método marshall, Nariño: UN, 2013.
- [11] R. Galviz Ariza, Mezclas asfálticas y patología de las mismas., Colombia: UEJ, 2006.
- [12] Propiedades y Estudios de los Materiales asfálticos y pétreos, 2006.
- [13] VISE, «[blog.vise.com.mx](http://blog.vise.com.mx),» [En línea]. Available: <https://blog.vise.com.mx/que-contiene-la-mezcla-asfaltica>. [Último acceso: 19 Junio 2022].
- [14] A. P. Rodríguez, «[upcommons.upc.edu](http://upcommons.upc.edu),» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14>. [Último acceso: 19 Junio 2022].
- [15] D. S. O. D. M. Z. Mónica Jiménez Acuña, «Mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones,» *Infraestructura Vial*, vol. I, n° 21, pp. 18-29, 2009.
- [16] . A. D. Salgado Cuaical y S. . A. Vásquez Navarrete , Diseño de mezcla asfáltica en frío como alternativa para el bacheo de pavimentos flexibles, Quito, 2019.
- [17] S. PÉREZ ACOSTA y W. Y. LEMUS FRANCO, COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN FRÍO ADICIONADA CON PARTÍCULAS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC), BOGOTÁ: ucatolica, 2018.
- [18] Instituto Mexicano del Transporte, UNAM, SCT y IPN, «[blog.vise.com.mx](http://blog.vise.com.mx),» Mexico DF, [En línea]. Available: <https://blog.vise.com.mx/caracteristicas-de-las-mezclas-asfalticas-en-frío-y-caliente#:~:text=Entre%20las%20propiedades%20m%C3%A1s%20relevantes,resistencia%20al%20deslizamiento%20y%20trabajabilidad..> [Último acceso: 27 Septiembre 2022].
- [19] S. . E. Santamaría Chipana, Durabilidad de las mezclas asfálticas en caliente con valvas de concha de abanico, Peru: UDEP, 2020.
- [20] J. C. LOPEZ SABOGAL, COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PROVENIENTES DE BOTELLAS PET RECICLADAS, Bogota: FAEDIS, 2020.



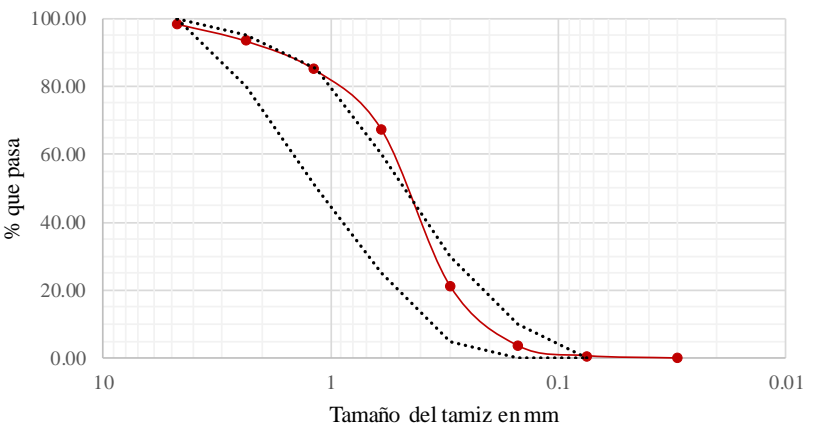
- [21] «catarina.udlap.mx,» [En línea]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/maxil\\_c\\_r/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/capitulo2.pdf). [Último acceso: 19 Junio 2022].
- [22] RECOPE, «Recope,» 23 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/emulsiones/>. [Último acceso: 27 Septiembre 2022].
- [23] R. Rodríguez Talavera, V. M. Castaño Meneses y M. Martínez Madrid, «EMULSIONES ASFALTICAS,» SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, Sanfandila, 2001.
- [24] M. Beltran, Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias, España: RUA, 2011.
- [25] D. F. SUASNAVAS FLORES, Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate) , como alternativa para su gestión, Quito: PUCEQ, 2017.
- [26] A. Torres Contreras, Diseño del procedimiento para la realización de ensayos en el laboratorio de una industria productora de resina pet reciclado, Costa rica: Kérwá, 2013.
- [27] J. A. FORERO BERNAL, J. P. GARCÍA MEDINA y M. J. MARTÍNEZ TORRES, PROPIEDADES FÍSICAS, REOLÓGICAS Y MECÁNICAS DE UN CEMENTO ASFÁLTICO 80/100 MODIFICADO POR VÍA HÚMEDA CON ADICIÓN DE CORCHO, Bogota: UGC, 2015.
- [28] A. Pinilla, J. Agnusdei y . A. Reynaldi, ESTUDIO DE DURABILIDAD DE ASFALTOS DE USO VIAL POR ENSAYO'. DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO, Buenos aires: LEMIT, 1969.
- [29] L. . L. Velasco , Permeabilidad del concreto asfáltico: influencia de la granulometría y el contenido de cemento asfáltico, Ciudad de México: UNAM, 2016.
- [30] P. Garnica Anguas, M. Flores Flores, J. A. Gómez López y H. Delgado Alamilla, «CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS,» Sanfandila, Ciudad de México, 2005.
- [31] H. D. Flores Yancachajlla, PRÁCTICA “ENSAYO DE MARSHALL”, AREQUIPA: UNSA, 2014.
- [32] P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla, J. A. Gómez López, S. Alonso Romero y H. . A. Alarcón Orta, «ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS,» SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, Sanfandila, 2004.

- [33] C. Villalaz, *Meánica de suelos y Cimentaciones*, Monterrey: LIMUSA, 1976.
- [34] S. Rocha, «Construaprende,» [En línea]. Available: <https://www.construaprende.com/docs/lab/330-practica-resistencia-abrasion-agregados#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20abradi%C3%B3n,caracter%C3%Asticas%20de%20la%20roca%20madre..> [Último acceso: 20 Junio 2022].
- [35] G. de Celis, *ENSAYO RICE*, Merida: ULA, 2014.
- [36] J. Cárdenas Grisales, «Revistas.udistrital,» [En línea]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/4039/6082#:~:text=El%20tr%C3%A1nsito%20generado%20consiste%20en,se%20construyera%20la%20nueva%20carretera..> [Último acceso: 21 Septiembre 2022].
- [37] I. A. ALVARADO ROJAS, «1library,» 2000. [En línea]. Available: <https://1library.co/article/determinaci%C3%B3n-de-ejes-equivalentes-w.y81erz>. [Último acceso: 21 Septiembre 2022].
- [38] A. A. o. S. H. Transportation, *Diseño de Pavimentos AASHTO-93*, Estados Unidos: NHI, 2006.
- [39] A. A. o. S. H. a. Transportation, *Diseño de Pavimentos AASHTO-93*, Estados Unidos: NHI, 2006.
- [40] M. d. O. P. MOP, *Especificaciones Generales*, Quito, 2002.
- [41] S. MINAYA y A. ORDOÑEZ, «DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS,» Lima .

## **6. ANEXOS**



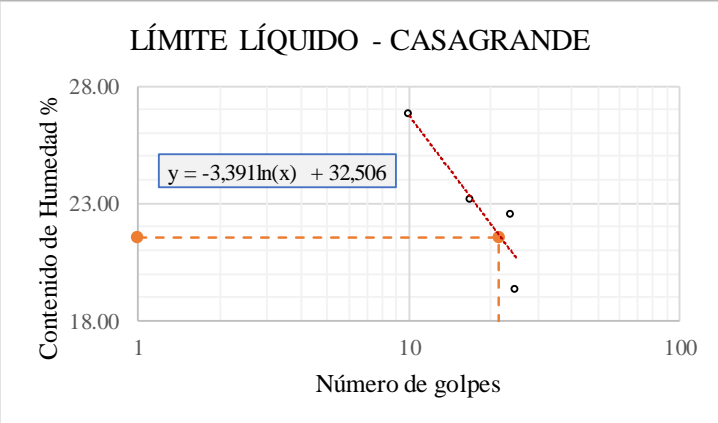
### **Ensayos de laboratorio**

## Anexo 1. Ensayo granulométrico del Agregado fino

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN					
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."					
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRANULOMETRÍA</b>					
<b>NORMATIVA:</b> ASTM: D421-58 D-422-63, AASHTO: 7-87-70 7-88-70						
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>						
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9865160.5 17 S				
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769826.6				
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b> M1				
<b>Fecha:</b>	Ago-22					
<b>Peso Inicial (gr):</b>	1000					
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% RANGOS MAXIMO Y MINIMOS</b>
#4	4.75	16.2	16.2	1.62	98.38	100
#8	2.36	50.3	66.5	6.65	93.35	95-100
#16	1.18	84.2	150.7	15.07	84.93	80-100
#30	0.60	176.2	326.9	32.69	67.31	50-85
#50	0.30	460.1	787	78.70	21.30	25-60
#100	0.15	177.2	964.2	96.42	3.58	5-30
#200	0.075	29.1	993.3	99.33	0.67	0-10
Fuente	0.030	6.7	1000	100.00	0.00	
<b>RESULTADOS</b>						
<div style="text-align: center;"> <p><b>CURVA GRANULOMÉTRICA</b></p> <p>—●— % PASA      ..... RANGO</p>  <p style="font-size: small;">% que pasa</p> <p style="font-size: small;">Tamaño del tamiz en mm</p> </div>						
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>		
Shumacher Gavilanes				Ing. Favio Portilla		



**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor**

## Anexo 2. Límite Líquido Agregado Fino

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</b>								
<b>TEMA:</b> "Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."									
<b>ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO</b>									
<b>NORMATIVA: AASHTO T90-70, ASTM D424-71, INEN 691</b>									
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b> <b>Provincia:</b> Tungurahua <b>Coordenada X:</b> 9862146.121 17S <b>Cantón:</b> Ambato <b>Coordenada Y:</b> 769283.625 <b>Parroquia:</b> Izamba <b>ID Muestra:</b> M1 <b>Fecha:</b> Ago - 22									
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>				
<b>Peso muestra húmeda + recipiente</b>	gr	32.83	33.53	28.62	28.93	29.62	27.34	28.21	24.62
<b>Peso muestra seca + recipiente</b>	gr	28.23	28.91	25.33	25.53	26.12	24.31	25.53	22.32
<b>Peso Agua [Ww]</b>	gr	4.60	4.62	3.29	3.40	3.50	3.03	2.68	2.30
<b>Peso Recipiente [Wr]</b>	gr	11.32	11.32	10.97	10.93	10.83	10.55	11.12	10.82
<b>Peso Muestra Seca [Ws]</b>	gr	16.91	17.59	14.36	14.60	15.29	13.76	14.41	11.50
<b>Contenido de Humedad W%</b>	%	27.20	26.26	22.91	23.29	22.89	22.02	18.60	20.00
<b>Contenido de Humedad Promedio PW%</b>	%	26.73		23.10		22.46		19.30	
<b>Número de golpes</b>		10		17		24		25	
<b>Límite Líquido LL%</b>	%	<b>21.53</b>							
<b>LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE</b> 									
<b>Realizado por:</b>					<b>Revisado por:</b>				
Shumacher Gavilanes					Ing. Favio Portilla				



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### Anexo 3. Límite Plástico Agregado Fino

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN</b>						
<b>TEMA:</b>		“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”				
<b>ENSAYO:</b>		<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>				
		<b>NORMATIVA:</b> AASHTO T90-20, ASTM D424-59-74, INEN 691				
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>						
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.121	17S		
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.625			
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b>	M1			
<b>Fecha:</b>	Ago-22					
<b>MUESTRA N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Peso muestra húmeda + recipiente</b>	gr	11.53	11.43	11.43	11.53	11.63
<b>Peso muestra seca + recipiente</b>	gr	11.33	11.23	11.33	11.33	11.53
<b>Peso Agua [Ww]</b>	gr	0.20	0.20	0.10	0.20	0.10
<b>Peso Recipiente [Wr]</b>	gr	10.53	10.53	10.53	10.53	10.63
<b>Peso Muestra Seca [Ws]</b>	gr	0.80	0.70	0.80	0.80	0.90
<b>Contenido de Humedad W%</b>	%	25.00	28.57	12.50	25.00	11.11
<b>Límite Plástico LP%</b>	%	20.44				
<b>Límite Líquido LL%</b>	%	21.53				
<b>Índice Plástico IP</b>		<b>1.09</b>				
<b>Realizado por:</b>		<b>Revisado por:</b>				
Shumacher Gavilanes		Ing. Favio Portilla				

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



#### Anexo 4. Contenido de Humedad Agregado Fino

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN			
<b>TEMA:</b>		“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”			
<b>ENSAYO:</b>		DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)			
<b>NORMATIVA: NTE INEN 862</b>					
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>					
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.1 UTM 17S		
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.63		
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b>	M1		
<b>Fecha:</b>	Ago-22				
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>					
Muestra N°			<b>1</b>	<b>2</b>	
Peso muestra húmeda + recipiente	gr		173.62	166.04	
Peso muestra seca + recipiente	gr		172.51	164.99	
Peso del recipiente	gr		30.95	30.77	
Peso del agua	gr		1.11	1.05	
Peso de la muestra seca	gr		141.56	134.22	
Contenido de humedad (W%)	%		0.78	0.78	
Promedio del contenido de humedad (W%)	%		<b>0.78</b>		
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>					
El contenido de humedad obtenido en laboratorio es de 0.78 gr/cm <sup>3</sup>					
<b>Realizado por:</b>			<b>Revisado por:</b>		
Shumacher Gavilanes			Ing. Favio Portilla		

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor





## Anexo 5. Contenido de Humedad Agregado 1/2"

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”		
<b>ENSAYO:</b>	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)		
	<b>NORMATIVA: NTE INEN 862</b>		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b>	Agregado 1/2
<b>Fecha:</b>	Ago-22		
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>			
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	130.97	129.82
Peso muestra seca + recipiente	gr	130.49	129.31
Peso del recipiente	gr	26.48	24.80
Peso del agua	gr	0.48	0.51
Peso de la muestra seca	gr	104.01	104.51
Contenido de humedad (W%)	%	0.46	0.49
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>0.47</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>			
El contenido de humedad obtenido en laboratorio es de 0.47 gr/cm <sup>3</sup>			
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>		
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla		



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

## Anexo 6. Contenido de Humedad Agregado 3/4"

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN																		
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”																		
<b>ENSAYO:</b>	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)																		
	<b>NORMATIVA: NTE INEN 862</b>																		
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Provincia:</b></td> <td style="width: 25%;">Tungurahua</td> <td style="width: 25%;"><b>Coordenada X:</b></td> <td style="width: 25%;">9862146.1 UTM 17S</td> </tr> <tr> <td><b>Cantón:</b></td> <td>Ambato</td> <td><b>Coordenada Y:</b></td> <td>769283.63</td> </tr> <tr> <td><b>Parroquia:</b></td> <td>Izamba</td> <td><b>ID Muestra:</b></td> <td>M3</td> </tr> <tr> <td><b>Fecha:</b></td> <td>Ago-22</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.1 UTM 17S	<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.63	<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b>	M3	<b>Fecha:</b>	Ago-22		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b>	9862146.1 UTM 17S																
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b>	769283.63																
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b>	M3																
<b>Fecha:</b>	Ago-22																		
	<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>																		
Muestra N°		<b>1</b>	<b>2</b>																
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	156.94	138.66																
Peso muestra seca + recipiente	gr	156.55	138.29																
Peso del recipiente	gr	28.79	24.29																
Peso del agua	gr	0.39	0.37																
Peso de la muestra seca	gr	127.76	114.00																
Contenido de humedad (W%)	%	0.31	0.32																
Promedio del contenido de humedad (W%)	%	<b>0.31</b>																	
	<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>																		
	El contenido de humedad obtenido en laboratorio es de 0.31 gr/cm <sup>3</sup>																		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>																		
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla																		



**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

## Anexo 7. Gravedad Específica Agregado Fino

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D854-48, INEN 856-1	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b> M4
<b>Fecha:</b>	Ago-22	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Ensayo N°		<b>1</b>
Temperatura del agua + suelo	°C	21.00
Peso del recipiente	gr	171.00
Peso del recipiente + peso del suelo seco	gr	673.00
Peso del picnómetro + agua (Wbw)	gr	671.00
Peso del suelo seco W <sub>s</sub>	gr	502.00
W <sub>s</sub> +W <sub>bw</sub>	gr	1173.00
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (W <sub>bws</sub> )	gr	969.00
Desplazamiento del agua	gr	204.00
Factor de corrección por temperatura	K	0.9980
Gravedad Específica (G <sub>s</sub> )		<b>2.46</b>
<b>DETERMINACIÓN CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>		
Masa del recipiente	gr	110.00
Masa del recipiente + muestra SSS	gr	611.00
Masa de la muestra SSS	gr	501.00
Masa del recipiente + muestra seca	gr	601.00
Masa de la muestra seca	gr	491.00
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.41
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA APARENTE</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.54
Capacidad de absorción	%	2.04
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La gravedad específica obtenida para esta muestra de agregado es de 2,46.		
A una temperatura de 21°C el peso del picnómetro más agua es de 671 gr.		
La capacidad de absorción obtenida para esta muestra de agregado es de 2.04%		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla	



Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Anexo 8. Gravedad Específica Agregado 1/2"**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO</b>	
	<b>NORMATIVA: ASTM D854-48, INEN 856-1</b>	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b> M5
<b>Fecha:</b>	Ago-22	
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Masa de la canastilla en el aire	gr	1237
Masa de la canastilla en el agua	gr	1047
Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	3255
Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2252
Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.9993
Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2018
Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1205
Volumen real de la Muestra	cm <sup>3</sup>	813
GRAVEDAD SSS BULK	gr/cc	2.482
<b>DETERMINACIÓN CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>		
Masa del recipiente	gr	292.00
Masa del recipiente + muestra SSS	gr	2382.00
Masa de la muestra SSS	gr	2090.00
Masa del recipiente + muestra seca	gr	2254.00
Masa de la muestra seca	gr	1962.00
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK	gr/cm <sup>3</sup>	2.41
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.59
Capacidad de absorción	%	6.52
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La gravedad específica obtenida para esta muestra de suelo es de 2,482 gr/cm <sup>3</sup> .		
La gravedad específica seca obtenida para esta muestra de suelo es de 2,41 gr/cm <sup>3</sup> .		
La gravedad específica seca aparente obtenida para esta muestra de suelo es de 2,59 gr/cm <sup>3</sup> .		
La capacidad de absorción obtenida es de 6.52 %		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla	



Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Anexo 9. Gravedad Específica Agregado 3/4"**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	"Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío."	
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO</b>	
	<b>NORMATIVA:</b> ASTM D854-48, INEN 856-1	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>ID Muestra:</b> M6
<b>Fecha:</b>	Ago-22	
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Masa de la canastilla en el aire	gr	1237
Masa de la canastilla en el agua	gr	1079
Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	3493
Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2451
Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.9993
Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2256
Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1372
Volumen real de la Muestra	cm <sup>3</sup>	884
GRAVEDAD SSS BULK	gr/cc	2.552
<b>DETERMINACIÓN CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>		
Masa del recipiente	gr	264.00
Masa del recipiente + muestra SSS	gr	2617.00
Masa de la muestra SSS	gr	2353.00
Masa del recipiente + muestra seca	gr	2483.00
Masa de la muestra seca	gr	2219.00
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK	gr/cm <sup>3</sup>	2.51
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.62
Capacidad de absorción	%	6.04
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La gravedad específica obtenida para esta muestra de suelo es de 2,552 gr/cm <sup>3</sup> .		
La gravedad específica seca obtenida para esta muestra de suelo es de 2,51 gr/cm <sup>3</sup> .		
La gravedad específica seca aparente obtenida para esta muestra de suelo es de 2,62 gr/cm <sup>3</sup> .		
La capacidad de absorción obtenida es de 6.04 %		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla	

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Anexo 10. Ensayo de Abrasión**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO EXPERIMENTAL DE TITULACIÓN	
<b>TEMA:</b>	“Análisis del efecto de la adición de partículas de tereftalato de polietileno (PET) en mezclas asfálticas en frío.”	
<b>ENSAYO:</b>	<b>RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN</b>	
	<b>NORMATIVA: NTE INEN 860</b>	
<b>DATOS DE LA MUESTRA:</b>		
<b>Provincia:</b>	Tungurahua	<b>Coordenada X:</b> 9862146.1 UTM 17S
<b>Cantón:</b>	Ambato	<b>Coordenada Y:</b> 769283.63
<b>Parroquia:</b>	Izamba	<b>Peso Muestra:</b> 5000 gr
<b>Fecha:</b>	Ago-22	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>		
	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Masa de la Muestra a ensayar	gr	<b>5000</b>
Masa Desgastada	gr	3874.00
Masa perdida por Desgaste	gr	1126.00
Desgaste del Agregado	%	22.52
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
El desgaste del agregado obtenido en laboratorio es de 22.52 %		
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	
Shumacher Gavilanes	Ing. Favio Portilla	

**Elaborado por:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

# **Anexos**

## **Especificaciones Técnicas de la Emulsión Asfáltica**

## Emulsión Asfáltica CSS-1h

### Normas Técnicas de Referencia:

Norma Ecuatoriana NTE-INEN-2062:96

Norma Americana ASTM-D244

### Anexo 11. Ficha técnica Emulsión Asfáltica

<b>Emulsión Asfáltica Catiónica CSS-1h. Emulsión de curado lento</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Especificación</b>
Densidad Relativa a 25°C	gr/cm <sup>3</sup>	0.90-1.10
Contenido de Asfalto	% Peso	57-64
Penetración en el Residuo	1/10 mm	40-90
Peso por Galón	kg/gl	3.4-4.2
Contenido de Agua	% Peso	36-46
pH	-	1.5-2.5
Asentamiento en 24 h	%	0-1
Estabilidad en el Almacenamiento	%	Máx. 5
Prueba del Tamiz N°20	%	Máx. 0.1
Viscosidad Saybolt - Furol a 23°C	sSF	20-100
Mezcla con Cemento	%	Máx. 2.0
Carga de Partículas	-	Positiva

**Fuente:** Ficha Técnica - Chova, Imptek



# Anexos

**Tráfico**

**Anexo 12. Conteo de tráfico ambos sentidos**

CONTEO VEHICULAR AMBOS SENTIDOS											
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						TOT. PESAD	TOTAL	ACUMULADO POR HORA
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3			
06:00 - 06:15	61	6	0	1	1	0	1	0	4	74	
06:15 - 06:30	57	6	3	0	1	0	0	1	3	71	
06:30 - 06:45	79	6	1	1	1	2	1	0	5	96	
06:45 - 07:00	77	5	3	0	2	0	2	0	6	95	336
07:00 - 07:15	98	8	1	1	3	0	1	0	7	119	381
07:15 - 07:30	106	5	4	0	1	2	1	0	10	129	439
07:30 - 07:45	141	5	3	2	1	1	0	0	11	164	507
07:45 - 08:00	157	8	4	4	1	3	2	0	8	187	599
08:00 - 08:15	147	5	1	1	0	1	2	0	8	165	645
08:15 - 08:30	148	5	3	4	1	1	0	0	15	177	693
08:30 - 08:45	134	5	2	1	0	1	0	1	2	146	675
08:45 - 09:00	128	5	3	1	1	0	1	0	15	154	642
09:00 - 09:15	125	5	1	1	1	1	0	0	12	146	623
09:15 - 09:30	97	5	2	1	1	0	0	1	8	115	561
09:30 - 09:45	123	9	1	3	3	0	4	0	9	152	567
09:45 - 10:00	125	9	7	1	2	3	0	0	7	154	567
10:00 - 10:15	124	9	5	1	2	1	0	0	6	148	569
10:15 - 10:30	112	8	7	2	4	0	2	0	8	143	597
10:30 - 10:45	123	8	6	2	2	1	1	0	7	150	595
10:45 - 11:00	155	8	3	3	1	2	1	0	9	182	623
11:00 - 11:15	152	5	4	1	1	2	0	0	6	171	646
11:15 - 11:30	146	8	3	1	2	0	0	0	8	168	671
11:30 - 11:45	165	8	0	1	0	1	0	0	7	182	703
11:45 - 12:00	132	9	3	2	1	0	1	0	8	156	677
12:00 - 12:15	124	9	6	4	2	3	0	0	8	156	662
12:15 - 12:30	135	8	6	2	0	1	0	0	8	160	654
12:30 - 12:45	164	5	3	1	2	0	1	0	9	185	657
12:45 - 13:00	135	9	5	3	1	1	0	0	9	163	664
13:00 - 13:15	136	8	5	2	0	0	0	0	11	162	670
13:15 - 13:30	134	8	3	4	3	1	1	0	12	166	676
13:30 - 13:45	156	6	2	1	1	0	0	0	8	174	665
13:45 - 14:00	124	6	2	2	0	1	0	0	9	144	646
14:00 - 14:15	112	5	5	3	3	0	1	0	8	137	621
14:15 - 14:30	97	5	3	1	1	0	0	0	9	116	571
14:30 - 14:45	123	8	5	2	0	3	0	0	7	148	545
14:45 - 15:00	105	8	1	1	2	0	1	0	6	124	525
15:00 - 15:15	98	6	2	5	3	2	0	0	3	119	507
15:15 - 15:30	91	4	5	3	0	0	0	0	7	110	501
15:30 - 15:45	96	6	3	1	1	0	0	0	8	115	468
15:45 - 16:00	84	4	4	2	2	2	1	0	3	102	446
16:00 - 16:15	103	4	5	1	3	0	1	0	4	121	448
16:15 - 16:30	112	4	5	5	0	2	0	0	6	134	472
16:30 - 16:45	154	4	2	3	3	1	1	0	5	173	530
16:45 - 17:00	105	4	3	2	1	0	0	0	8	123	551
17:00 - 17:15	97	4	4	1	0	3	0	0	9	118	548
17:15 - 17:30	108	4	6	5	1	2	0	0	7	133	547
17:30 - 17:45	123	8	4	5	0	1	1	0	8	150	524
17:45 - 18:00	145	5	6	1	2	1	0	0	9	169	570

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Anexo 13. Conteo de tráfico ambos sentido Norte - Sur**

CONTEO VEHICULAR AMBOS SENTIDOS											
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						TOT. PESAD	TOTAL	ACUMULADO
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3			
06:00 - 06:15	36	4	0	1	0	0	0	0	2	43	
06:15 - 06:30	41	5	2	0	1	0	0	1	1	51	
06:30 - 06:45	32	3	1	1	1	2	1	0	3	44	
06:45 - 07:00	38	4	1	0	0	0	1	0	2	46	184
07:00 - 07:15	54	4	1	1	3	0	1	0	4	68	209
07:15 - 07:30	61	3	3	0	0	0	0	0	4	71	229
07:30 - 07:45	72	2	3	2	1	1	0	0	8	89	274
07:45 - 08:00	83	4	1	2	0	0	1	0	3	94	322
08:00 - 08:15	64	3	0	0	0	1	1	0	5	74	328
08:15 - 08:30	86	4	1	2	0	0	0	0	7	100	357
08:30 - 08:45	67	3	1	0	0	1	0	0	1	73	341
08:45 - 09:00	91	3	2	0	0	0	1	0	5	102	349
09:00 - 09:15	63	3	0	0	0	1	0	0	6	73	348
09:15 - 09:30	43	3	0	0	1	0	0	0	2	49	297
09:30 - 09:45	61	4	1	0	2	0	1	0	4	73	297
09:45 - 10:00	56	5	2	0	1	2	0	0	6	72	267
10:00 - 10:15	74	5	3	1	1	0	0	0	3	87	281
10:15 - 10:30	56	3	3	2	4	0	2	0	1	71	303
10:30 - 10:45	64	5	1	1	0	0	0	0	5	76	306
10:45 - 11:00	62	4	1	0	0	1	0	0	4	72	306
11:00 - 11:15	89	3	2	0	1	1	0	0	3	99	318
11:15 - 11:30	74	3	1	0	1	0	0	0	4	83	330
11:30 - 11:45	85	3	0	1	0	0	0	0	3	92	346
11:45 - 12:00	74	4	1	0	0	0	0	0	2	81	355
12:00 - 12:15	63	5	3	2	0	2	0	0	3	78	334
12:15 - 12:30	65	4	3	1	0	0	0	0	3	76	327
12:30 - 12:45	81	3	1	1	0	0	0	0	2	88	323
12:45 - 13:00	73	4	2	0	0	0	0	0	4	83	325
13:00 - 13:15	96	3	3	0	0	0	0	0	5	107	354
13:15 - 13:30	84	3	1	2	1	0	1	0	6	98	376
13:30 - 13:45	99	2	1	0	0	0	0	0	4	106	394
13:45 - 14:00	67	2	0	1	0	0	0	0	3	73	384
14:00 - 14:15	59	3	3	0	1	0	0	0	5	71	348
14:15 - 14:30	49	3	0	1	0	0	0	0	6	59	309
14:30 - 14:45	69	4	2	0	0	2	0	0	3	80	283
14:45 - 15:00	43	4	1	1	0	0	0	0	3	52	262
15:00 - 15:15	38	3	2	2	0	1	0	0	1	47	238
15:15 - 15:30	48	2	2	3	0	0	0	0	4	59	238
15:30 - 15:45	61	1	0	0	0	0	0	0	2	64	222
15:45 - 16:00	49	2	2	1	2	0	1	0	1	58	228
16:00 - 16:15	58	1	2	1	1	0	0	0	2	65	246
16:15 - 16:30	62	1	2	3	0	1	0	0	3	72	259
16:30 - 16:45	86	2	1	0	3	0	0	0	3	95	290
16:45 - 17:00	62	2	0	0	0	0	0	0	4	68	300
17:00 - 17:15	63	1	2	1	0	0	0	0	5	72	307
17:15 - 17:30	87	2	3	2	1	1	0	0	2	98	333
17:30 - 17:45	55	3	1	3	0	0	0	0	4	66	304
17:45 - 18:00	73	3	2	0	1	0	0	0	2	81	317

Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Anexo 14. Conteo de tráfico ambos sentido Sur - Norte**

CONTEO VEHICULAR AMBOS SENTIDOS											
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						TOT. PESAD	TOTAL	ACUMULAD O
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3			
06:00 - 06:15	25	2	0	0	1	0	1	0	2	31	
06:15 - 06:30	16	1	1	0	0	0	0	0	2	20	
06:30 - 06:45	47	3	0	0	0	0	0	0	2	52	
06:45 - 07:00	39	1	2	0	2	0	1	0	4	49	152
07:00 - 07:15	44	4	0	0	0	0	0	0	3	51	172
07:15 - 07:30	45	2	1	0	1	2	1	0	6	58	210
07:30 - 07:45	69	3	0	0	0	0	0	0	3	75	233
07:45 - 08:00	74	4	3	2	1	3	1	0	5	93	277
08:00 - 08:15	83	2	1	1	0	0	1	0	3	91	317
08:15 - 08:30	62	1	2	2	1	1	0	0	8	77	336
08:30 - 08:45	67	2	1	1	0	0	0	1	1	73	334
08:45 - 09:00	37	2	1	1	1	0	0	0	10	52	293
09:00 - 09:15	62	2	1	1	1	0	0	0	6	73	275
09:15 - 09:30	54	2	2	1	0	0	0	1	6	66	264
09:30 - 09:45	62	5	0	3	1	0	3	0	5	79	270
09:45 - 10:00	69	4	5	1	1	1	0	0	1	82	300
10:00 - 10:15	50	4	2	0	1	1	0	0	3	61	288
10:15 - 10:30	56	5	4	0	0	0	0	0	7	72	294
10:30 - 10:45	59	3	5	1	2	1	1	0	2	74	289
10:45 - 11:00	93	4	2	3	1	1	1	0	5	110	317
11:00 - 11:15	63	2	2	1	0	1	0	0	3	72	328
11:15 - 11:30	72	5	2	1	1	0	0	0	4	85	341
11:30 - 11:45	80	5	0	0	0	1	0	0	4	90	357
11:45 - 12:00	58	5	2	2	1	0	1	0	6	75	322
12:00 - 12:15	61	4	3	2	2	1	0	0	5	78	328
12:15 - 12:30	70	4	3	1	0	1	0	0	5	84	327
12:30 - 12:45	83	2	2	0	2	0	1	0	7	97	334
12:45 - 13:00	62	5	3	3	1	1	0	0	5	80	339
13:00 - 13:15	40	5	2	2	0	0	0	0	6	55	316
13:15 - 13:30	50	5	2	2	2	1	0	0	6	68	300
13:30 - 13:45	57	4	1	1	1	0	0	0	4	68	271
13:45 - 14:00	57	4	2	1	0	1	0	0	6	71	262
14:00 - 14:15	53	2	2	3	2	0	1	0	3	66	273
14:15 - 14:30	48	2	3	0	1	0	0	0	3	57	262
14:30 - 14:45	54	4	3	2	0	1	0	0	4	68	262
14:45 - 15:00	62	4	0	0	2	0	1	0	3	72	263
15:00 - 15:15	60	3	0	3	3	1	0	0	2	72	269
15:15 - 15:30	43	2	3	0	0	0	0	0	3	51	263
15:30 - 15:45	35	5	3	1	1	0	0	0	6	51	246
15:45 - 16:00	35	2	2	1	0	2	0	0	2	44	218
16:00 - 16:15	45	3	3	0	2	0	1	0	2	56	202
16:15 - 16:30	50	3	3	2	0	1	0	0	3	62	213
16:30 - 16:45	68	2	1	3	0	1	1	0	2	78	240
16:45 - 17:00	43	2	3	2	1	0	0	0	4	55	251
17:00 - 17:15	34	3	2	0	0	3	0	0	4	46	241
17:15 - 17:30	21	2	3	3	0	1	0	0	5	35	214
17:30 - 17:45	68	5	3	2	0	1	1	0	4	84	220
17:45 - 18:00	72	2	4	1	1	1	0	0	7	88	253

**Elaborado por: Shumacher Duvalier Gavilanes Loo**

# Anexos

**Anexos Marshall**

### Anexo 15. Factores de corrección de la estabilidad

Factores de corrección para la estabilidad							
Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor
(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.
31,5	3,902	36,0	3,124	40,5	2,385	45,0	1,879
31,6	3,884	36,1	3,105	40,6	2,371	45,1	1,871
31,7	3,867	36,2	3,086	40,7	2,356	45,2	1,863
31,8	3,850	36,3	3,068	40,8	2,342	45,3	1,855
31,9	3,833	36,4	3,049	40,9	2,328	45,4	1,847
32,0	3,815	36,5	3,030	41,0	2,313	45,5	1,839
32,1	3,798	36,6	3,014	41,1	2,299	45,6	1,831
32,2	3,780	36,7	2,999	41,2	2,284	45,7	1,823
32,3	3,763	36,8	2,983	41,3	2,270	45,8	1,814
32,4	3,745	36,9	2,968	41,4	2,258	45,9	1,806
32,5	3,728	37,0	2,952	41,5	2,246	46,0	1,798
32,6	3,710	37,1	2,936	41,6	2,234	46,1	1,790
32,7	3,693	37,2	2,921	41,7	2,223	46,2	1,782
32,8	3,675	37,3	2,905	41,8	2,211	46,3	1,774
32,9	3,658	37,4	2,889	41,9	2,199	46,4	1,766
33,0	3,640	37,5	2,874	42,0	2,187	46,5	1,758
33,1	3,623	37,6	2,858	42,1	2,175	46,6	1,750
33,2	3,605	37,7	2,843	42,2	2,163	46,7	1,742
33,3	3,588	37,8	2,827	42,3	2,151	46,8	1,734
34,4	3,570	37,9	2,811	42,4	2,139	46,9	1,726
33,5	3,554	38,0	2,796	42,5	2,128	47,0	1,718
33,6	3,538	38,1	2,78	42,6	2,116	47,1	1,710
33,7	3,522	38,2	2,763	42,7	2,104	47,2	1,702
33,8	3,506	38,3	2,745	42,8	2,092	47,3	1,694
33,9	3,490	38,4	2,728	42,9	2,080	47,4	1,686
34,0	3,474	38,5	2,710	43,0	2,070	47,5	1,678
34,1	3,458	38,6	2,693	43,1	2,060	47,6	1,670
34,2	3,442	38,7	2,675	43,2	2,050	47,7	1,663
34,3	3,426	38,8	2,658	43,3	2,040	47,8	1,656
34,4	3,410	38,9	2,640	43,4	2,030	47,9	1,649
34,5	3,394	39,0	2,623	43,5	2,020	48,0	1,643
34,6	3,378	39,1	2,605	43,6	2,010	48,1	1,636
34,7	3,362	39,2	2,588	43,7	2,000	48,2	1,629
34,8	3,346	39,3	2,570	43,8	1,990	48,3	1,622
34,9	3,330	39,4	2,553	43,9	1,980	48,4	1,615
35,0	3,311	39,5	2,535	44,0	1,970	48,5	1,608
35,1	3,293	39,6	2,517	44,1	1,960	48,6	1,601
35,2	3,274	39,7	2,500	44,2	1,950	48,7	1,594
35,3	3,255	39,8	2,486	44,3	1,940	48,8	1,588
35,4	3,236	39,9	2,471	44,4	1,930	48,9	1,581
35,5	3,218	40,0	2,457	44,5	1,920	49,0	1,574
35,6	3,199	40,1	2,443	44,6	1,912	49,1	1,567
35,7	3,180	40,2	2,428	44,7	1,904	49,2	1,560
35,8	3,161	40,3	2,414	44,8	1,896	49,3	1,554
35,9	3,143	40,4	2,399	44,9	1,888	49,4	1,549

Factor de Corrección para la estabilidad							
Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor
(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.
49,5	1,543	54,0	1,320	58,5	1,149	63,0	1,013
49,6	1,538	54,1	1,316	58,6	1,146	63,1	1,011
49,7	1,532	54,2	1,311	58,7	1,143	63,2	1,008
49,8	1,526	54,3	1,307	58,8	1,140	63,3	1,005
49,9	1,521	54,4	1,303	58,9	1,137	63,4	1,003
50,0	1,515	54,5	1,298	59,0	1,134	63,5	1,000
50,1	1,509	54,6	1,294	59,1	1,131	63,6	0,998
50,2	1,504	54,7	1,289	59,2	1,128	63,7	0,995
50,3	1,498	54,8	1,285	59,3	1,124	63,8	0,993
50,4	1,493	54,9	1,281	59,4	1,121	63,9	0,990
50,5	1,487	55,0	1,276	59,5	1,118	64,0	0,988
50,6	1,481	55,1	1,272	59,6	1,115	64,1	0,985
50,7	1,476	55,2	1,268	59,7	1,112	64,2	0,983
50,8	1,470	55,3	1,263	59,8	1,109	64,3	0,980
50,9	1,465	55,4	1,259	59,9	1,106	64,4	0,978
51,0	1,460	55,5	1,254	60,0	1,103	64,5	0,975
51,1	1,455	55,6	1,250	60,1	1,099	64,6	0,973
51,2	1,450	55,7	1,246	60,2	1,096	64,7	0,970
51,3	1,445	55,8	1,243	60,3	1,093	64,8	0,968
51,4	1,440	55,9	1,239	60,4	1,090	64,9	0,965
51,5	1,435	56,0	1,235	60,5	1,087	65,0	0,963
51,6	1,430	56,1	1,231	60,6	1,084	65,1	0,960
51,7	1,425	56,2	1,228	60,7	1,081	65,2	0,958
51,8	1,420	56,3	1,224	60,8	1,078	65,3	0,956
51,9	1,415	56,4	1,220	60,9	1,074	65,4	0,954
52,0	1,410	56,5	1,218	61,0	1,071	65,5	0,953
52,1	1,405	56,6	1,213	61,1	1,068	65,6	0,951
52,2	1,400	56,7	1,209	61,2	1,065	65,7	0,949
52,3	1,395	56,8	1,205	61,3	1,062	65,8	0,947
52,4	1,390	56,9	1,201	61,4	1,059	65,9	0,945
52,5	1,386	57,0	1,198	61,5	1,056	66,0	0,943
52,6	1,381	57,1	1,194	61,6	1,053	66,1	0,941
52,7	1,377	57,2	1,190	61,7	1,049	66,2	0,939
52,8	1,373	57,3	1,187	61,8	1,046	66,3	0,938
52,9	1,368	57,4	1,184	61,9	1,043	66,4	0,936
53,0	1,364	57,5	1,181	62,0	1,040	66,5	0,934
53,1	1,359	57,6	1,178	62,1	1,037	66,6	0,932
53,2	1,355	57,7	1,174	62,2	1,035	66,7	0,930
53,3	1,351	57,8	1,171	62,3	1,032	66,8	0,928
53,4	1,346	57,9	1,168	62,4	1,029	66,9	0,925
53,5	1,342	58,0	1,165	62,5	1,027	67,0	0,923
53,6	1,338	58,1	1,162	62,6	1,024	67,1	0,920
53,7	1,333	58,2	1,159	62,7	1,021	67,2	0,918
53,8	1,329	58,3	1,156	62,8	1,019	67,3	0,915
53,9	1,324	58,4	1,153	62,9	1,016	67,4	0,913

Factor de corrección para la estabilidad							
Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor
(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.
67,5	0,910	69,7	0,864	71,9	0,825	74,1	0,790
67,6	0,908	69,8	0,862	72,0	0,824	74,2	0,788
67,7	0,905	69,9	0,860	72,1	0,823	74,3	0,786
67,8	0,903	70,0	0,858	72,2	0,821	74,4	0,784
67,9	0,900	70,1	0,856	72,3	0,820	74,5	0,782
68,0	0,898	70,2	0,854	72,4	0,819	74,6	0,780
68,1	0,895	70,3	0,853	72,5	0,818	74,7	0,779
68,2	0,893	70,4	0,851	72,6	0,816	74,8	0,778
68,3	0,890	70,5	0,849	72,7	0,815	74,9	0,776
68,4	0,888	70,6	0,847	72,8	0,814	75,0	0,775
68,5	0,886	70,7	0,845	72,9	0,813	75,1	0,774
68,6	0,884	70,8	0,843	73,0	0,811	75,2	0,773
68,7	0,883	70,9	0,841	73,1	0,810	75,3	0,771
68,8	0,881	71,0	0,839	73,2	0,808	75,4	0,770
68,9	0,879	71,1	0,838	73,3	0,806	75,5	0,769
69,0	0,877	71,2	0,836	73,4	0,804	75,6	0,768
69,1	0,875	71,3	0,834	73,5	0,802	75,7	0,766
69,2	0,873	71,4	0,832	73,6	0,800	75,8	0,765
69,3	0,871	71,5	0,830	73,7	0,798	75,9	0,764
69,4	0,869	71,6	0,829	73,8	0,796	76,0	0,763
69,5	0,868	71,7	0,828	73,9	0,794	76,1	0,761
69,6	0,866	71,8	0,826	74,0	0,792		

Fuente: ASTM T 245 79



# Anexos

Análisis Económico

## Anexo 16 APU, Capa de Rodadura

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Rubro :</b>	CAPA DE RODADURA DE HORMIGON ASFALTICO MEZCLADO EN PLANTA E=10 cm (INC. IMPRIMACION Y TRANSPORTE)				<b>Unidad:</b> M2
<b>Detalle :</b>					
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
HERRAMIENTAS MENORES (5% M.O.)					0.01
FINISHER	1.00	50.00	50.00	0.0040	0.20
RODILLO VIBRATORIO LISO	1.00	40.00	40.00	0.0040	0.16
RODILLO NEUMATICO	1.00	35.00	35.00	0.0040	0.14
PLANTA ASFALTO	1.00	350.00	350.00	0.0040	1.40
<b>SUB TOTAL (M)</b>					1.91
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Jornal/hr (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
OPERADOR DE FINISHER	1.00	3.21	3.21	0.0040	0.01
OPERADOR DE RODILLO	2.00	3.21	6.42	0.0040	0.03
OPERDAOR DE PLANTA DE ASFALTO	1.00	3.21	3.21	0.0040	0.01
PEON	8.00	3.01	24.08	0.0040	0.10
<b>SUB TOTAL (N)</b>					0.15
<b>MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo C=(AxB)	
PIEDRA # 3/4	M3	0.027	19.00	0.51	
PIEDRA # 3/8	M3	0.033	19.00	0.63	
ARENA FINA	M3	0.048	19.00	0.91	
ASFALTO AC-20	KG	13.890	0.32	4.44	
ADITIVO DE ADHERENCIA	KG	0.053	4.20	0.22	
DIESEL	GLN	0.175	0.98	0.17	
<b>SUB TOTAL (O)</b>					6.89
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	Unidad	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo C=(AxB)	
TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA	M3-KM	4.80	0.24	1.15	
AC20	KG	13.89	0.02	0.28	
<b>SUB TOTAL (P)</b>					1.43
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					10.37
<b>INDIRECTOS</b>	16%				1.66
<b>UTILIDAD</b>	4%				0.41
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					12.45
<b>VALOR OFERTADO</b>					12.45

Fuente: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### Anexo 17: APU, Base Clase II

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Rubro :</b>	SUB - BASE CLASE II	<b>Unidad:</b> M3			
<b>Detalle :</b>					
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
HERRAMIENTA MENOR 5%					0.02
MOTONIVELADORA	1.00	35.00	35.00	0.017	0.58
RODILLO LISO	1.00	30.00	30.00	0.017	0.50
TANQUERO	1.00	16.00	16.00	0.017	0.27
<b>SUB TOTAL (M)</b>					1.37
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Jornal/hr (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
CHOFER	3.00	4.36	13.08	0.017	0.218
OPERADOR DE MOTONIVELADORA	1.00	3.38	3.38	0.017	0.056
OPERADOR DE RODILLO	1.00	3.21	3.21	0.017	0.054
AYUDANTE DE MAQUINA	1.00	2.66	2.66	0.017	0.044
PEON	1.00	3.01	3.01	0.017	0.050
<b>SUB TOTAL (N)</b>					0.42
<b>MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo C=(AxB)	
MATERIAL DE SUB BASE CLASIFICADA	M3	1.20	12.00	14.40	
AGUA	M3	0.03	0.50	0.02	
<b>SUB TOTAL (O)</b>					14.42
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	Unidad	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo C=(AxB)	
<b>SUB TOTAL (P)</b>					0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					16.21
<b>INDIRECTOS</b>	16%				2.59
<b>UTILIDAD</b>	4%				0.65
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					19.45
<b>VALOR OFERTADO</b>					19.45

Fuente: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### Anexo 18: APU, Subbase Clase III

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Rubro :	SUB - BASE CLASE III	Unidad: M3			
Detalle :					
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
HERRAMIENTA MENOR 5%					0.02
MOTONIVELADORA	1.00	35.00	35.00	0.017	0.58
RODILLO LISO	1.00	30.00	30.00	0.017	0.50
TANQUERO	1.00	16.00	16.00	0.017	0.27
<b>SUB TOTAL (M)</b>					1.37
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Jornal/hr (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
CHOFER	3.00	4.36	13.08	0.017	0.218
OPERADOR DE MOTONIVELADORA	1.00	3.38	3.38	0.017	0.056
OPERADOR DE RODILLO	1.00	3.21	3.21	0.017	0.054
AYUDANTE DE MAQUINA	1.00	2.66	2.66	0.017	0.044
PEON	1.00	3.01	3.01	0.017	0.050
<b>SUB TOTAL (N)</b>					0.42
<b>MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo C=(AxB)	
MATERIAL DE SUB BASE CLASIFICADA	M3	1.20	10.00	12.00	
AGUA	M3	0.03	0.50	0.02	
<b>SUB TOTAL (O)</b>					12.02
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	Unidad	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo C=(AxB)	
<b>SUB TOTAL (P)</b>					0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					13.81
<b>INDIRECTOS</b>	16%				2.21
<b>UTILIDAD</b>	4%				0.55
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					16.57
<b>VALOR OFERTADO</b>					16.57

Fuente: Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Anexo 19: APU, PET/PP/PE**

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Rubro :</b> MATERIAL MODIFICADOR PET/PP/PE		<b>Unidad:</b> KG			
<b>Detalle :</b>					
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
HERRAMIENTA MENOR 5%					0.02
<b>SUB TOTAL (M)</b>					0.02
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Jornal/hr (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
PEON	1.00	3.01	3.01	0.002	0.005
<b>SUB TOTAL (N)</b>					0.01
<b>MATERIALES</b>					
Descripcion	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo C=(AxB)	
MATERIAL MODIFICADOR PET/PE/PP	KG	3.00	1.25	3.75	
AGUA	M3	0.03	0.50	0.02	
<b>SUB TOTAL (O)</b>					3.77
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	Unidad	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo C=(AxB)	
<b>SUB TOTAL (P)</b>					0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					3.79
<b>INDIRECTOS</b> 16%					0.61
<b>UTILIDAD</b> 4%					0.15
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					4.55
<b>VALOR OFERTADO</b>					4.55

Fuente: Shumacher Duvalier Gavilanes Llor

# Anexos

## Anexos Fotográficos

## Anexo 20. Ensayo Resistencia al desgaste por abrasión



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

## Anexo 21. Ensayo Granulometría



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Anexo 22. Ensayo Densidad del árido grueso**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

**Anexo 23. Ensayo Densidad del árido fino**



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor



## Anexo 24. Ensayo Límite Líquido



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

## Anexo 25. Ensayo Límite Plástico



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

## Anexo 26. Elaboración de Briquetas



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

## Anexo 27. Ensayo Marshall



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### Anexo 28. Ensayo Rice



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### Anexo 29. Toma de pesos briquetas



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### Anexo 30. Ensayo marshal



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### Anexo 31. Peso canastillas para densidad BULK



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loor

### Anexo 32. Compactador de briquetas asfálticas



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

### Anexo 33. Briquetas de hormigón asfáltico



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo

### Anexo 34. Briquetas inmersas en baño maria



**Fuente:** Shumacher Duvalier Gavilanes Loo