



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
CIVIL**

**TESIS**

**“DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA  
ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE  
TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO  
MOLIDO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

**Bach. Tejada Brioso Nicolai Alvin  
Código Orcid: 0000-0003-1830-8014**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Salinas Vásquez, Néstor Raúl  
Código Orcid:0000-0001-5431-2737**

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2022**

**APROBACION DEL JURADO**

**“DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO  
POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO”**

---

**Bach. Tejada Brioso Nicolai Alvin**  
**Autor**

---

**Mg. Salinas Vásquez Néstor Raúl**  
**Asesor**

---

**Mg. Villegas Granados Luis Mariano**  
**Presidente de Jurado**

---

**Dr. Marín Bardales Noe Humberto**  
**Secretario de Jurado**

---

**Mg. Idrogo Pérez Cesar Antonio**  
**Vocal de Jurado**

## DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a mis padres, por apoyo incondicional en mi formación personal y profesional, los amo mucho.

A ti estudiante, una vez yo estuve ahí donde estas tu pensando en que será de tu vida en como afrontaras lo que se te viene en el futuro, decirte que, si se va a poder y llegara el día que egresaras y veras que se siente muy bien, las personas que no logran algo siempre se burlan de lo que haces, ten fe y cree en ti.

Nicolai Alvin Tejada Brioso

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecer a Dios por guiarme hacia el buen camino y no desistir en el proceso.

Agradezco a la persona más importante en mi vida, mi madre Antonia, porque siempre se preocupa por todos sus hijos, nos da ánimos y sobre todo su apoyo incondicional.

A mi padre Oscar, por sus sabios consejos en momentos difíciles.

A mi prometida Ines cajo, por impulsarme siempre a seguir adelante y terminar mi carrera.

A los muy buenos amigos que hice durante esta etapa de mi vida, Pedro, Felix, Kevin, Anthony, por las amanecidas, risas, tristezas, aciertos y desaciertos, decirles que si se pudo.

Nicolai Alvin Tejada Brioso



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito el uso de materiales reciclados para la elaboración de una mezcla asfáltica en caliente (MAC) – B para tránsito mediano con la adición en combinación de Polietileno de Tereftalato (PET) y caucho molido para lo cual se usó cemento asfáltico (PEN) 60/70 como aglomerante y así las mezclas asfálticas cumplan con la normativa para mezcla de concreto bituminoso, siendo esta una alternativa para la elaboración de MAC, lo principal es el uso del método Marshall para obtener resultados de una mezcla asfáltica ecológica adicionando (PET) reciclado y caucho molido en porcentajes de 1%, 1.5%, 2%, 2.5% para ambos materiales con respecto al peso total de la mezcla y compararla con una mezcla asfáltica convencional. En los ensayos de laboratorio se elaboró una muestra patrón para encontrar el porcentaje óptimo de (PEN), luego una muestra para (PET) y caucho independientemente y finalmente muestras con la combinación de ambas. Así mismo se concluyó que la incorporación de (PET) y caucho molido influye de manera significativa en el porcentaje de vacíos, por consecuencia el aumento en el porcentaje de V.M.A., Vacíos Llenos de C.A., sin embargo, disminuye la estabilidad/flujo llegando a 1794 kg/cm, cumpliendo con la normativa, pero por debajo de una mezcla convencional, los costos unitarios de una mezcla asfáltica ecológica se determinaron por metro cúbico (m<sup>3</sup>) usando la combinación de 1% (PET) y 1% de caucho.

**PALABRAS CLAVES:** MAC, Polietileno de Tereftalato (PET), Caucho, mezcla bituminosa, Marshall

## **ABSTRACT**

The present investigation had as purpose the use of recycled materials for the elaboration of a hot asphalt mixture (MAC) - B for medium traffic with the addition in combination of Polyethylene Terephthalate (PET) and ground rubber for which asphalt cement was used. (PEN) 60/70 as a binder and thus the asphalt mixtures comply with the regulations for mixing bituminous concrete, this being an alternative for the preparation of MAC, the main thing is the use of the Marshall method to obtain results of an ecological asphalt mixture adding Recycled (PET) and ground rubber in percentages of 1%, 1.5%, 2%, 2.5% for both materials with respect to the total weight of the mixture and compare it with a conventional asphalt mixture. In the laboratory tests, a standard sample was prepared to find the optimal percentage of (PEN), then a sample for (PET) and rubber independently and finally samples with the combination of both. Likewise, it was concluded that the incorporation of (PET) and ground rubber significantly influences the percentage of voids, consequently the increase in the percentage of V.M.A., Empty filled with C.A., however, decreases stability / flow reaching 1794 kg/cm, complying with the regulations, but below a conventional mixture, the unit costs of an ecological asphalt mixture were determined per cubic meter (m<sup>3</sup>) using the combination of 1% (PET) and 1% rubber.

**KEY WORDS:** MAC, Polyethylene Terephthalate (PET), Rubber, bituminous mix, Marshall

## INDICE

I. INTRODUCCION .....	14
1.1 Realidad Problemática .....	14
1.1.1 A nivel internacional:.....	14
1.1.2 A nivel nacional:.....	16
1.1.3 A nivel local:.....	17
1.2 Antecedentes de investigación.....	17
1.2.1 A nivel internacional:.....	17
1.2.2 A nivel nacional:.....	23
1.2.3 A nivel local:.....	25
1.3 Teorías relacionadas al tema .....	26
1.3.1 Agregados .....	26
1.3.2 Asfalto.....	28
1.3.3 Caucho .....	28
1.3.4 Plásticos .....	29
1.3.5 Polietileno Tereftalato (PET).....	30
1.3.6 Asfalto.....	31
1.3.7 Mezclas Asfálticas en caliente (MAC).....	32
1.3.8 Método Marshall en Mezclas Asfálticas en caliente.....	33
1.3.9 Ensayo Marshall .....	35
1.3.10 Gravedad Especifica bulk.....	35
1.3.11 Estabilidad Marshall .....	35
1.3.12 Flujo Marshall.....	36
1.3.13 Vacíos .....	36
1.3.14 Vacíos del agregado mineral.....	36
1.3.15 Relación Filler - betún.....	37
1.3.16 Contenido de cemento asfaltico .....	37
1.4 Formulación del problema.....	37
1.5 Justificación e importancia del estudio .....	37
1.5.1 Justificación Técnica.....	37
1.5.2 Justificación Ambiental .....	37
1.5.3 Justificación Socioeconómica.....	37
1.5.4 Importancia.....	38

1.6	Hipótesis .....	38
1.7	Objetivos .....	38
1.7.1	Objetivo general.....	38
1.7.2	Objetivos específicos.....	38
II.	MATERIAL Y MÉTODO.....	39
2.1	Tipo y Diseño de Investigación .....	39
2.1.1	Tipo de investigación .....	39
2.1.2	Diseño de investigación.....	39
2.2	Población y muestra.....	39
2.2.1	Población.....	39
2.2.2	Muestra.....	39
2.3	Variables y operacionalización.....	42
2.3.1	Variable independiente.....	42
2.3.2	Variable dependiente.....	42
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ... .....	45
2.4.1	Técnica de recolección de datos .....	45
2.4.2	Instrumentos de recolección de datos .....	45
2.5	Procedimiento de análisis de datos.....	46
2.5.1	Diagrama de flujo de procesos .....	46
2.5.2	Descripción del proceso .....	47
2.5.3	Requisitos para agregados y MAC .....	58
2.6	Criterios éticos .....	60
2.6.1	Ética en Recolección de datos.....	60
2.7	Criterios de rigor científico.....	60
III.	RESULTADOS.....	61
3.1	Resultados en Tablas y figuras .....	61
	Del primer objetivo: .....	72
	Del segundo objetivo: .....	76
	Del tercer objetivo: .....	77
	Del cuarto objetivo: .....	81
3.2	Discusión de resultados .....	83
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85

4.1	Conclusiones.....	85
4.2	Recomendaciones.....	86
V.	REFERENCIAS.....	87
VI.	ANEXOS.....	95
6.1	Anexo 01 – Resolución del proyecto de investigación .....	95
6.2	Anexo 02 – Instrumentos .....	96
6.3	Anexo 03 – Resultados de laboratorio .....	105
6.4	Anexo 04 – Evidencias fotográficas .....	130
6.5	Anexo 05 – Matriz de consistencia.....	136

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Caucho molido de neumático .....	29
<b>Figura 2</b>	Trituración de plástico reciclado .....	31
<b>Figura 3</b>	Estructura del asfalto .....	32
<b>Figura 4</b>	Diagrama de flujo de procesos .....	46
<b>Figura 5</b>	Planta de asfalto y cemento asfáltico .....	47
<b>Figura 6</b>	Cemento portland tipo I .....	47
<b>Figura 7</b>	Caucho molido.....	48
<b>Figura 8</b>	PET triturado.....	48
<b>Figura 9</b>	Tamices normalizados.....	49
<b>Figura 10</b>	Ensayo de peso específico y absorción AF .....	50
<b>Figura 11</b>	Ensayo de peso específico y absorción AG .....	51
<b>Figura 12</b>	Ensayo de límites.....	52
<b>Figura 13</b>	Ensayo de límites.....	52
<b>Figura 14</b>	Ensayo de sales solubles .....	53
<b>Figura 15</b>	Ensayo equivalente de arena .....	54
<b>Figura 16</b>	Ensayo chatas y alargadas.....	55
<b>Figura 17</b>	Caras fracturadas .....	56
<b>Figura 18</b>	Maquina los ángeles.....	57
<b>Figura 19</b>	Aparato Marshall.....	58
<b>Figura 20</b>	Curva granulométrica Agregado Fino .....	61
<b>Figura 21</b>	Curva granulométrica Agregado grueso .....	62
<b>Figura 22</b>	Peso unitario.....	66
<b>Figura 23</b>	Porcentaje de vacíos .....	67
<b>Figura 24</b>	V.M.A.....	67
<b>Figura 25</b>	Vacíos llenos de C.A. ....	67
<b>Figura 26</b>	Relación polvo/asfalto.....	68
<b>Figura 27</b>	Flujo.....	68
<b>Figura 28</b>	Estabilidad Marshall.....	68
<b>Figura 29</b>	Estabilidad/Flujo .....	69
<b>Figura 30</b>	Comparación Porcentaje de vacíos .....	77
<b>Figura 31</b>	Comparación Porcentaje de vacíos en agregado mineral (VMA) .....	78
<b>Figura 32</b>	Comparación Porcentaje vacíos llenos C.A.....	78

<b>Figura 33</b>	Comparación Relación polvo/asfalto .....	79
<b>Figura 34</b>	Comparación flujo.....	79
<b>Figura 35</b>	Comparación estabilidad .....	80
<b>Figura 36</b>	Comparación estabilidad/flujo.....	80
<b>Figura 37</b>	Presupuesto mezcla asfáltica ecológica .....	81
<b>Figura 38</b>	Análisis de costos unitarios de mezcla asfáltica ecológica .....	82
<b>Figura 39</b>	Formato ensayo granulométrico .....	96
<b>Figura 40</b>	Formato ensayo densidad relativa.....	97
<b>Figura 41</b>	Formato ensayo abrasión .....	98
<b>Figura 42</b>	Formato ensayo equivalente de arena .....	99
<b>Figura 43</b>	Formato ensayo angularidad agregado fino .....	100
<b>Figura 44</b>	Formato ensayo límites de atterberg .....	101
<b>Figura 45</b>	Formato ensayo contenido de sales .....	102
<b>Figura 46</b>	Formato ensayo gravedad específica .....	103
<b>Figura 47</b>	Formato ensayo Marshall .....	104
<b>Figura 48</b>	Agregado grueso .....	130
<b>Figura 49</b>	Ensayo de chatas y alargadas.....	130
<b>Figura 50</b>	Ensayo de contenido de sales solubles.....	131
<b>Figura 51</b>	Ensayo de equivalente de arena .....	131
<b>Figura 52</b>	Ensayo peso específico .....	132
<b>Figura 53</b>	Agregado grueso usado para ensayo de granulometría.....	132
<b>Figura 54</b>	Ensayo Límites de Atterberg.....	133
<b>Figura 55</b>	Ensayo peso específico de los agregados .....	133
<b>Figura 56</b>	Elaboración de briquetas .....	134
<b>Figura 57</b>	Muestra patrón.....	134
<b>Figura 58</b>	Ensayo Marshall .....	135
<b>Figura 59</b>	Ensayo Rice.....	135

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Agregados .....	27
<b>Tabla 2.</b>	Determinación de muestra patrón.....	39
<b>Tabla 3.</b>	Determinación de muestra usando PET .....	40
<b>Tabla 4.</b>	Determinación de muestra usando Caucho.....	40
<b>Tabla 5.</b>	Determinación de muestra con combinaciones .....	41
<b>Tabla 6.</b>	Resumen total de muestras .....	41
<b>Tabla 7.</b>	Operacionalización de Variables dependientes e independientes.....	43
<b>Tabla 8.</b>	Requisitos para agregado fino .....	58
<b>Tabla 9.</b>	Requisitos para agregado grueso.....	59
<b>Tabla 10.</b>	Gradaciones para MAC .....	59
<b>Tabla 11.</b>	Parámetros de mezclas bituminosas MTC E 504 .....	60
<b>Tabla 12.</b>	Resultado de los agregados .....	62
<b>Tabla 13.</b>	Porcentajes de materiales .....	63
<b>Tabla 14.</b>	Peso de los materiales según porcentaje de asfalto.....	63
<b>Tabla 15.</b>	Resumen de muestra patrón según porcentaje de asfalto .....	64
<b>Tabla 16.</b>	Muestra patrón con un porcentaje de 5.5 % de asfalto.....	64
<b>Tabla 17.</b>	Muestra patrón según porcentaje de asfalto.....	65
<b>Tabla 18.</b>	Muestra patrón según porcentaje de asfalto.....	65
<b>Tabla 19.</b>	Muestra patron según porcentaje de asfalto.....	66
<b>Tabla 20.</b>	Características marshall .....	69
<b>Tabla 21.</b>	Gravedad Específica Teórica Máxima .....	70
<b>Tabla 22.</b>	Metodo Marshall adicionando PET .....	70
<b>Tabla 23.</b>	Gravedad Específica Teórica Máxima .....	71
<b>Tabla 24.</b>	Metodo Marshall MAC-2 adicionando Caucho .....	71
<b>Tabla 25.</b>	Combinación de porcentajes de PET y caucho .....	72
<b>Tabla 26.</b>	Ensayo RICE de combinaciones .....	72
<b>Tabla 27.</b>	Metodo Marshall con PET 1% y caucho .....	73
<b>Tabla 28.</b>	Metodo Marshall con PET 1.5% y caucho .....	74
<b>Tabla 29.</b>	Metodo Marshall con PET 2% y caucho .....	74
<b>Tabla 30.</b>	Metodo Marshall con PET 2.5% y caucho .....	75
<b>Tabla 31.</b>	Combinación seleccionada.....	76
<b>Tabla 32.</b>	MAC convencional Vs MAC seleccionada.....	77



**Tabla 33.** Costo de elaboración de ensayos, muestra patron y combinacion....81

## **I. INTRODUCCION**

### **1.1 Realidad Problemática**

#### **1.1.1 A nivel internacional:**

Para los investigadores (Aghayan & Khafajeh, 2019), Afirman que uno de los plásticos más encontrados en residuos municipales es PET el cual representa el 18% del total fabricado de polímeros en el mundo y más del 60% de fibras sintéticas, cada día se producen más de 2675 libras de desechos solo en EE.UU. sin embargo solo se reciclan 29,1%, generando contaminación en el medio ambiente.

Por otro lado (Zhao et al., 2020) mencionan que en los países en desarrollo se encuentran residuos domésticos producidos de forma masiva como PET estos materiales de desecho generan un deterioro del ambiente ya que son eliminados en ríos y lugares no adecuados, uso de desechos sólidos, Para solucionar estos problemas con los desechos sólidos los autores plantearon el emplearlo en pavimentos.

Para (Kabir et al., 2023) menciona que actualmente, debido al desarrollo de la industria automotriz, cada vez existe desecho de neumáticos de caucho los cuales se han convertido en un problema urgente que se debe solucionar

Así como en la opinión de (Ahmad & Ahmad, 2022) el reducir los efectos nocivos del desecho de PET en el ambiente, se puede implementar métodos de reciclaje y su uso en proyectos de construcción de carreteras para mejorar la calidad del asfalto

Por ello para (Al-Haydari & Al-Haidari, 2020) mencionan que los polímeros desechados de PET y botellas desechadas generan una perturbación en el medio ambiente que son eliminados por lo cual pueden ser usados como alternativa en el reciclaje de los mismo y uso como materiales alternativos ya que estos solo son usados una vez.

afirmando lo que señalan (Almeida E Silva et al., 2015) mencionan que debido al aumento en las últimas tres décadas de desechos PET al medio ambiente, debido a la eliminación inadecuada esto a generado un problema en el balance del medio ambiente.

En seguida Umar (Hayat et al., 2020) refiere que la creciente eliminación de desechos plásticos ocasiona un deterioro del ambiente estos desechos se han convertido en un problema frecuente y grave para el ecosistema para lo cual se han impulsado al desarrollo de nuevas alternativas sostenibles

En opinión de (Leng et al., 2018), mencionan que los problemas ambientales ocasionados por el PET son muy graves ya que estos residuos han sido encontrados en ecosistemas fuera de ciudades dañando gravemente al ambiente, el uso de residuos sólidos como el PET es una alternativa de reciclaje y puede aliviar este mal, teniendo un gran beneficio en la reducción de la contaminación ambiental.

Luego (Solatiyan et al., 2020), afirman que los materiales de desecho de botellas de polietileno de tereftalato PET son una preocupación ambiental ya que son materiales sintéticos que su tiempo de degradación es prolongado.

Tambien (Gürü et al., 2014) , mencionan que los residuos sólidos específicamente las botellas de polietileno tereftalato (PET) son un problema creciente medioambiental en las últimas décadas consideradas un gran volumen de residuos plásticos, estas botellas de PET.

Los investigadores (Maharaj et al., 2019), refieren que los materiales de desecho como polietileno de tereftalato PET de botellas de plástico de desecho y caucho desmenuzado de neumáticos de automóviles son un problema ambiental y de salud recurrente.

### **1.1.2 A nivel nacional:**

Para los investigadores (Ramírez Alvarado & Tananta Salas, 2019) mencionan la construcción de pavimentos en el país es muy costoso, estas presentan fallas teniendo como consecuencia su mantenimiento y un gasto adicional, las vías de comunicación en San Martín se encuentra en mal estado siendo este la principal fuente de desarrollo para la región, del mismo modo la contaminación por residuos sólidos siendo en su mayoría plásticos que no son reutilizados estos a su vez llegan a los ríos generando consecuencias graves con las cuales se lucha en la actualidad.

En opinión de (Capcha Espinoza, 2018), afirma que el diseño de mezclas asfálticas en nuestro país es muy importancia para el desarrollo, el sector automotriz aumenta cada día por la gran cantidad de vehículos, el costo de construcción de una carretera es elevado, también las carreteras están en pésimo estado estas generan un gasto innecesario al estado como también inversiones redundantes en la rehabilitación.

Por otro lado (Ubidia Pinedo, 2019), menciona en el Perú los pavimentos asfálticos tienden a tener figuraciones las cuales generan disminución de su vida útil e incrementa el costo de mantenimiento para mejorar este aspecto se tiene que conocer los componentes, un mal diseño de mezclas asfálticas genera problemas que alteran sus propiedades que traen consigo deformaciones, para ello se puede agregar polvo reciclado de caucho como materia prima para las mezclas asfálticas obtenidos a través de la trituración con un costo bajo.

Así mismo para (Salazar Pucllas, 2019), menciona que las mezclas asfálticas son de gran importancia para una región que está creciendo, la gran demanda de vehículos y el desarrollo del país depende de la construcción de carreteras, por lo tanto el uso de asfaltos modificados permite innovar como al usar caucho reciclarlo podremos combatir ese problema que ocasiona al medio ambiente cuando cumple su tiempo de vida útil, la incorporación de caucho reciclado en las MAC incrementa las propiedades mecánicas y físicas del pavimento flexible beneficiando a la reducción de gases tóxicos y la cual busca una vida sostenible.

### **1.1.3 A nivel local:**

Referente (Silva Mantilla, 2018), menciona que el plástico reciclado para pavimentos flexibles es una buena opción la cual evita la mala disposición de este elemento al reciclarlo y esto contribuye a reducir la contaminación en el medio ambiente que es un gran problema en el mundo, la incorporación de PET reciclado incrementa y mejora la estabilidad, flujo, rigidez y porcentaje de vacíos disminuyendo así el costo unitario a comparación de una mezcla convencional.

En seguida (Chilcon Carrera & Ramírez Gálvez, 2017), mencionan que un problema muy común en los pavimentos flexibles es que presentan desintegraciones muy notorias en la capa de rodadura siendo parte de la carpeta asfálticas estas fallas apreciables como baches desprendimientos, descubrimiento del agregado y estrías longitudinales, la acción del mismo tránsito y generados por daños de fatiga esto hace que siga deteriorando aún más provocando remoción de material.

Por otro lado (Chávez Quiñones & Herna Apolo, 2014), mencionan las partículas en pavimentos flexibles de cucho reciclado en forma de agregado es una alternativa novedosa con respecto a una mezcla asfáltica convencional utilizados a través del proceso de trituración como polvo y combinando en diferentes porcentajes con mayor estabilidad con esto se puede aprovechar el caucho reciclado convirtiéndose así en una solución para la contaminación que existe en la ciudad de Chiclayo.

## **1.2 Antecedentes de investigación**

### **1.2.1 A nivel internacional:**

Para (Wan Mohd et al., 2013) en su investigación "Green Pavement using Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) as Partial Fine Aggregate Replacement in Modified Asphalt" tuvo como objetivo principal definir el efecto del uso del PET y la cantidad óptima. El método utilizado en la investigación fue una prueba de módulo de rigidez, considerando la especificación estándar en obras viales en Malasia (ACW14); es así que se obtuvo como resultado que la proporción óptima de betún debe mantenerse en un rango de 65 a 68% de vacío lleno de betún, 3% a 5% de vacío de aire y 14 a 15% agregado mineral. Los investigadores arribaron a la conclusión que el uso de tereftalato de polietileno (PET) reciclado, puede optimizar

los costos en la construcción de carreteras ya que el material (PET) es evidentemente económico y además puede resistir fallas en carreteras.

Así como (Ameli et al., 2020), en su investigación “ Performance evaluation of binders and Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures modified by Ground Tire Rubber (GTR), waste Polyethylene Terephthalate (PET) and Anti Stripping Agents (ASAs)” tiene como objetivo evaluar la influencia de los agentes anti-decapado, caucho de neumáticos (GTR) y (PET) en el asfalto matriz y aglutinante, la metodología usada fue que el MSCR para realizar la clasificación de ligantes modificados, los resultados obtenidos que la mezcla en proporciones adecuadas es decir un 50% de (PET) y 50% de (CR) mejora la resistencia de los pavimentos frente el agrietamiento a un temperatura intermedia. Finalmente, la conclusión fue que el uso del PET y CR ayuda a mejorar la resistencia de formación de surcos, además que desarrolla un mejor comportamiento en los que respecto a la elasticidad de la mezcla.

Por otro lado (Abo El-Naga & Ragab, 2019), en su investigación “Benefits of utilization the recycle polyethylene terephthalate waste plastic materials as a modifier to asphalt mixtures”, tuvo como objetivo principal el efecto que tiene el PET en el rendimiento y propiedades del pavimento asfáltico, el método utilizado en esta investigación fue en dos partes el PET en porcentajes de 2,4,6,8,10 y 12% del peso de asfalto y se realizó pruebas de penetración, reblandecimiento, punto de destello y viscosidad absoluta en la segunda parte el material PET en porcentajes de 10,11,12,13,14 y 15 % del peso de ligante asfáltico, cuantificando los beneficios económicos, los resultados obtenidos son reducción del 44.4% en la penetración cuando se agrega 12% de PET en el aglutinante asfáltico, asumiendo vida útil igual la capa modificada 12% ahorra un 18 y 20 % según deformación y desplazamiento vertical ,con el software KENPAVE indicando un 2.81 de vida útil, Concluyeron que el PET reduce la penetración del ligante del asfalto modificado, las mezclas con PET tuvieron surcos más altos a comparación de las convencionales mejorando la resistencia al agrietamiento, el uso de 12% de PET por peso de aglutinante aumenta la vida útil en 2.81 veces ahorrando así 20 % de espesor de la capa.

Para (M. Khan et al., 2016), en su investigación “Asphalt Design Using Recycled Plastic and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction” el objetivo principal fue utilizar polietileno baja y alta densidad y caucho granulado adicionados a la base, el método utilizado fue adición del caucho molido en proporciones de 2,4,8 y 10 % en el peso del betún a 165°C tiempo de 2 horas, los resultados obtenidos fueron que la prueba del aglutinante debe ser en relación con el área geográfica por lo que están enfocados a altas temperaturas que oscilan 46°C a 70°C, la conclusión fue que cuando aumenta el porcentaje de PET y CR su efectos sobre el comportamiento elástico es significativo con el 10% PET el aglutinante ofrece una mejora en la resistencia, el rendimiento del betún aumenta con la temperatura de 64°C a 70°C, también la adición de PET al aglutinante puro mejora la elasticidad y aumenta su vida útil reduciendo la formación de fallas como surcos y grietas.

(Modarres & Hamedi, 2014) en su investigación “Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes”, tiene como objetivo principal verificar las rigidez, fatiga de diferentes mezclas asfálticas adicionadas PET, la metodología usada fue los ensayos del módulo resiliente y fatiga en probetas con tracción indirecta a temperaturas de 5 y 20° con una duración de 5 horas por prueba, los resultados obtenidos fueron, el aumento de PET al 2% aumento el ITS, el betún sube a la superficie con mayores cantidades de PET se llegaron a la conclusiones que el 2% de PET redujo el módulo resiliente y para la fatiga incremento su resistencia con un 10 % de PET.

(Baghaee Moghaddam et al., 2015), en su investigación “Optimization of asphalt and modifier contents for polyethylene terephthalate modified asphalt mixtures using response surface methodology”, tiene como objetivo principal el estudiar las características de volumen y realizar la prueba de Marshall en mezclas asfálticas modificadas con PET, la metodología que usaron fue la Superficie de Respuesta (RSM), los resultados obtenidos fueron la proporción optima del 5.88% y 0.18% de contenido asfáltico y PET respectivamente, finalmente llegaron a la conclusión que mediante las proporciones mencionada dé tiene mayor estabilidad para las mezclas.

(Almeida Silva et al., 2018), en su investigación “Avaliação reológica de ligante modificado com Politereftalato de etileno (PET)”, tiene como objetivo principal la recuperación del ligante modificado con PET, el método utilizado fue la caracterización química y física del PET, los resultados obtenidos fueron las propiedades reológicas se mantienen hasta temperaturas de 64° y 70° C al utilizar el ligante asfáltico mejorado, llegaron a la conclusión que la adición de PET mejora el rendimiento del pavimento asfáltico, mostrando el incremento de propiedades.

(Saeed Al-Haydari & Saeed Al-Haidari, 2020) en su investigación, “Mechanical properties of polyethylene terephthalate-modified pavement mixture”, tiene como objetivo principal estimar características mecánicas y físicas de pavimento modificado por residuos de tereftalato de polietileno (PET), la metodología utilizada fue el diseño de mezcla de Marshall, los resultados obtenidos fueron que al incrementar el porcentaje de PET frente a la (MAC) se aumentó la resistencia a la tracción (TSR) de un 84% al 96%, lo que indica el nivel de resistencia a la humedad del PET y finalmente llegaron a la conclusión que incorporando residuos plásticos se puede tener una mezcla económica y sostenible.

(Syammaun et al., 2020) en su investigación “Effect of coconut-shell ash as filler and plastic bottle as substitution of porous asphalt mixture”, tiene como objetivo principal determinar dominio del uso de residuos de (PET) y ceniza de cáscara de coco (CS) en la mezcla asfáltica, se utilizó el método de la Asociación Australiana de pavimentos de Asfalto (AAPA), los resultados obtenidos en relación a la estabilidad con o sin PET y 50 % de la ceniza de cáscara de coco, sin embargo, se evidencia la reducción de la adición de PET en un 6%, y finalmente llegaron a la conclusión que al incrementar la cantidad de PET en la mezcla de asfalto porosa, esta aumenta sus nivel de permeabilidad.

(Machsus et al., 2019), en su investigación “Utilization of Plastic Bottles Waste in Asphalt Concrete Mixture” tiene como objetivo principal analizar los efectos del PET para mejorar los pavimentos de carreteras, la metodología usada fue los Parámetros Marshall en pavimentos de hormigón asfáltico, los resultados obtenidos fueron que la proporción óptima de PET es 3%, 4%, 5%, 6% y 7%, y el contenido



óptimo es de 5.7 %; además en los parámetros de Marshall se pudo evidenciar un aumento como consecuencia de la adición de PET, y se llegó a la conclusión que al utilizar PET del 6% al 18% del OAC se tiene resultados significativos en relación a la reducción de deformaciones en los pavimentos de carreteras, lo que significa el nivel de relevancia de un nuevo material sostenible que permitirá mejorar la infraestructura vial.

(Movilla-Quesada et al., 2019), en su investigación “Effects of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt Mixtures”, su objetivo principal es determinar qué impacto tiene el incorporar partículas espesas de PET en mezclas asfálticas calientes, la metodología utilizada el módulo de rigidez, la estabilidad y flujo de Marshall, los resultados en relación al módulo de rigidez fue que al aumentar la temperatura de 10 °C hasta 22 °C se observó deformaciones del PET y por otro lado se observó que la adición del PET aumenta la rigidez de la mezcla, y finalmente se llegó a la conclusión que el óptimo porcentaje de PET es 14%, es decir, se tiene una mezcla más resistente a deformaciones de los pavimentos a diferencia de las mezclas convencionales.

(Badejo et al., 2017) en su investigación “Plastic waste as strength modifiers in asphalt for a sustainable environment”, tiene como objetivo principal el contenido óptimo de residuos plásticos PET, la metodología utilizada fue la prueba de Marshall para la determinación de la proporción óptima de aglutinante, los resultados fueron que solo con la adición del 1% de plástico PET al contenido óptimo de aglutinante (OBS), se evidencia una significativa mejora en la mezcla, por lo que es ideal indicar que si se aumenta la adición del PET pueden surgir puntos débiles como la reducción de la estabilidad y la conclusión fue que la utilización de (PET) en las MAC, significa tener un material eficaz y que a la vez sea una alternativa para la reducción de residuos plásticos.

(Merluza Dr et al., 2020), en su investigación “Utilization of Plastic waste in Bitumen Mixes for Flexible Pavement”, tiene como objetivo principal crear un procedimiento para reutilizar los residuos plásticos en la utilización para mezclas asfálticas, la metodología usada fue las botellas de PET se usaron en mezclas en proporciones

de 5%, 7.5%, 10%, 12.5, % y 15% en sustitución del betún con el uso de la prueba Marshall, los resultados que se obtuvieron con un 10% de avance y un 5.25% de contenido de betún y la conclusión fue que con el uso del PET tiende a ser eficiente y ventajoso para el desarrollo de mezclas bituminosas con un ahorro de un 5.18% del costo en comparación de los betunes habituales.

(Zeynel Baran & Murat, 2019), en su investigación "Modelling of waste rubber and glass fiber with response surface method in hot mix asphalt", tiene como objetivo el efecto de la temperatura y caucho residual y fibra de vidrio en las características de mezclas asfálticas en caliente, la metodología usada fue el diseño de una matriz experimental con diseño compuesto para cuatro variables independientes, los resultados se demostró que los niveles óptimos de temperatura a 160°C, 4.9% contenido de betún, 4% de GF y la conclusión fue que se siguieron las condiciones óptimas y la mezcla se desempeñó con un tiempo más corto y menos muestra aplicados los métodos experimentales, así con la adición de nuevos elementos se puede incrementar el rendimiento de la MAC.

(Sarang, 2019), en su investigación "Replacement of stabilizers by recycling plastic in asphalt concrete" tiene como objetivo principal adición del plástico reciclado en el concreto asfáltico como opción para el rendimiento y vida útil del pavimento, la metodología usada fue uso del PET en tamaños de 21.6 mm secos al peso de los áridos en porcentajes de 0.4%, 0.6%, 0.8% y 1%, los resultados y la conclusión fue los aglutinantes de asfalto no son suficientes para soportar el tráfico actual, el plástico reciclado aumenta el rendimiento del concreto asfáltico y controla el drenaje.

así mismo (Hinislioglu & Agar, 2004) en su investigación "Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix" usaron PET en porcentajes 4%, 6% y 8% por peso de contenido óptimo de betún a temperaturas de 145 a 165 °C con tiempo de mezcla de 5, 15 y 30 min. de Obteniendo el mejor resultado con 4% de HDPE a una temperatura y mezclado de 165°C/30min con una estabilidad a 21 kN, flujo 6 mm, Cociente Marshall 5.5 kN/mm

Por otro lado (Zoorob & Suparma, 2000) en su Investigación “Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt)” lograron una densidad 2.01 g/cm<sup>3</sup>, estabilidad Marshall 34.8 kN, flujo 4mm y Cociente Marshall 8.7 kN/mm

Teniendo en cuenta a (Bansal et al., 2017) en su investigación “Evaluation of modified bituminous concrete mix developed using rubber and plastic waste materials” usaron proporciones de 4,6,8,10 % de plástico y 5,10,15 % caucho obtuvieron los siguientes resultados 84% de Betún + 6 % plástico y 10 % Caucho con Estabilidad 13.89 kN, flujo 3.9 mm, densidad 2.331 g/cm<sup>3</sup>, vacíos 4.7 % y VMA 14.2 % (Bansal et al., 2017)

### **1.2.2 A nivel nacional:**

(Cabezas Dulanto & Mendoza Aguirre, 2018), en la investigación “Alternativa de diseño de mezcla asfáltica en caliente con polvo de caucho de NFU para la ciudad de Lima 2018” su objetivo principal fue los beneficios del polvo elástico NFU en una mezcla asfáltica, la metodología usada fue utilizar proporciones 5 a 7% cemento asfáltico y 6 a 8% de polvo de caucho también se elaboró muestras con 40 briquetas de moldes para la rotura en la prensa Marshall midiendo la variable de diseño y de polvo de caucho, los resultados obtenidos fueron el cemento asfáltico tuvo un porcentaje óptimo de 6% y 7% para el polvo de caucho, las conclusiones fueron que el caucho mejora las propiedades de las MAC, la adherencia se ajusta a los parámetros del MTC, con más porcentaje de polvo de caucho aumenta su densidad también hace disminuir el % de vacíos de la mezcla.

(Huarcaya & Jines, 2018), en su investigación “Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas” su objetivo principal fue diseñar una MAC adicionando elastómero y PET reciclado para tránsito pesado, la metodología usada fue el ensayo Marshall para la elaboración de 80 briquetas con 20 con mezcla convencional y 60 con mezcla adicionando elastómeros 1%,1.5% y 2% y PET 1%,1.5% y 2% al peso total de los agregados pétreos, los resultados obtenidos fueron para la mezcla patrón tubo un % de asfalto óptimo de 6.4% así mismo el % de VMA se reduce a medida

que aumenta el % de combinación, las conclusiones fueron que agregar los elastómeros y PET en la MAC en 2% mejora la estabilidad así mismo aumenta el contenido de vacíos y reduce la impermeabilidad de la mezcla.

(Cerdeira Neira & Pintado Silupú, 2018), en su investigación "Uso del caucho en el diseño del pavimento flexible, en avenida los algarrobos, tramo avenida las amapolas – avenida gustavo mohme, veintiséis de octubre, Piura - 2018" tiene como objetivo principal diseñar un pavimento flexible agregando caucho, la metodología usada es la adición de caucho en 8,12,16,20% al cemento asfáltico con PEN 60/70, los resultados fueron diseñados para un periodo de 10 años, el CBR fueron 25.50%,16%,4.50% para las 3 calicatas, el porcentaje de vacíos es 4.4% y 4% para el pavimento flexible convencional y el con caucho, las conclusiones que el óptimo porcentaje de caucho fue 12%, también el porcentaje de CBR fue 16% en las calicatas realizadas con condición buena y el espesor de diseño para el pavimento fueron 1,97",11.81"y 11.81" para carpeta, base y Sub base granular.

(Cervera Borja, 2016), en su investigación "Influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos, Cajamarca, 2016", tiene como objetivo principal determinar algunas características mecánicas de un asfalto adicionado caucho reciclado la metodología usada fue la concentración de 1% de caucho con respecto al peso del árido se trabajó en temperaturas de 170 y 210 °C por un tiempo de 2 horas, los resultados obtenidos fueron que influyen de manera positiva mejorando e incrementando el flujo, estabilidad en 50% y también los costos unitarios de esta mezcla aumentan en un 5.05% respecto a una mezcla tradicional, llegaron a la conclusión el óptimo porcentaje de asfalto es 5.8% y un 1% de CR en proporción al peso de la mezcla y alcanzando las normativas EG2013.

(Carrizales Apaza, 2015), en su investigación "Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles", tiene como objetivo modificar mezclas asfálticas con llantas recicladas, la metodología usada se realizó una muestra convencional y con adición de caucho de 3,5,7,9 %, también se usó cemento asfáltico 120/150, los resultados que , llegó a la conclusión que el mejor

comportamiento fue de 3% de caucho reciclado, las mezclas asfálticas modificadas no presentan mejoras en el comportamiento físico-mecánico, también no cumplen con los valores mínimos del MTC.

(Canta & Vivas, 2018) en su investigación “Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas”, tiene como objetivo principal el uso de elastómeros y PET en el diseño de mezclas asfálticas para tránsitos pesados, la metodología usada fue la metodología Marshall para MAC (A,B,C) adicionando elastómeros y PET en porcentajes de 1%, 1.5%, 2%, los resultados que las mezclas MAC modificadas incrementa el contenido de vacíos y reduce la impermeabilidad, llego a la conclusión que de los 3 diseños se obtuvo un mejor comportamiento en el porcentaje de 1% elastómero y PET.

### **1.2.3 A nivel local:**

(Bravo Cabrera & Montalvo Malca, 2019) en su investigación “Desarrollo de una mezcla asfáltica en caliente con adición de caucho: caracterización del nuevo material”, tiene como objetivo principal elaborar una MAC con caucho reciclado, la metodología utilizada fue elaboración de 36 y 81 briquetas para mezclas asfáltico convencional y modificada respectivamente con porcentajes de 1,2,3 % de caucho al peso total, la temperatura con la que se diseño fue 120,130,140°C, los resultados obtenidos son en las mezclas asfálticas modificadas se obtuvo que la granulometría cumple con los establecido por el MTC, las conclusiones fueron el porcentaje óptimo para mezclas asfálticas es 80% agregado grueso y 20% de agregado fino, el asfalto fue 5% y aumentando la temperatura este material reacciona favorablemente, se puede trabajar el caucho a 140°C para mejores resultados.

(Rodríguez Elera, 2020), en su investigación “Diseño de mezcla asfáltica con plástico reciclado para innovar el proyecto ciclo vial prolongación Av. Bolognesi hasta carretera Pimentel”, tiene como objetivo, agregar plástico reciclado para tener un diseño MAC, la metodología usada fue mediante dos métodos definidos Método NAPA y Método Instituto del Asfalto, los resultados se obtuvo 8.32 y 8.65 % de asfalto para una mezcla convencional, 0.486 y 1.63% de plástico reciclado para la mezcla modificada, llego a las conclusiones que la adición de PET no reduce las

propiedades de la mezcla cumpliendo con la normativa con un porcentaje óptimo de PET según los métodos usados de 0.486%.

(Navarro Jiménez, 2017), en su investigación “Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET”, tiene como objetivo agregar PET a una MAC determinando su estabilidad y flujo, la metodología usada fue elaborar briquetas de 3 tipos para tránsitos liviano, medio y pesado, usaron 1,2,3 % de PET con respecto al peso total del agregados, los resultados para las mezclas convencionales los porcentajes de PEN60/70 fueron 4.5,5,5.5,6 y 6.5 % y para PEN60/70 + QUIMIBOM sus porcentajes fueron (4.5%+1%), (5%+1.5%), (5.5%+2%), (6%+2.5%), (6.5%+3%), para una mezcla con QUIMBOM + PEN60/70 + PET se usaron (4.5%+1%+0.5%), (5%+1%+1%), (5.5%+1%+1.5%), (6%+1%+2%), (6.5%+1%+2.5%), para una mezcla de PEN60/70 + PET con 4.5,5,5.5,6 y 6.5% + 0.3 %, respectivamente, se llegó a la conclusión el PET a una temperatura de 80°C luego de un tiempo se solidifica.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1 Agregados**

Las partículas como grava, arena, finos pueden estar en estado triturados o estado natural, los cuales son en su mayoría utilizado para la industria de la construcción y la elaboración de mezclas asfálticas, concretos, terraplenes, afirmado, bases y sub bases, el tamaño de las partículas se determina por el ensayo de granulometría por tamizado, donde las partículas que están en el rango de 2 mm a 6.4cm de definen como gravas y las que están en el rango de 0.075 y 2 mm son denominadas como arenas ya sea gruesas o finas y las menores a 0.075 mm son arcillas o filler. En una mezcla asfáltica, los agregados son los que se exigen más como la resistencia mecánica, durabilidad estos mismos conforman entre un 88% a 96% de la masa y 75 % del volumen total, encargados de resistir las cargas de tránsito y transmitir las a las capas inferiores, de la calidad de estos agregados depende las posibles fallas que ocurren en los pavimentos flexibles como el ahuellamiento, fatiga, etc. Deben tener una granulometría adecuada (gradación) y buena calidad en la preparación de mezclas asfálticas. (Quintana, 2015).

## Tabla 1.

### Agregados



Fuente: <https://www.yura.com.pe/blog/agregados-para-la-elaboracion-de-concreto/>

Conocido como roca o material granular o agregado definido como cualquier material duro e inerte con forma granulada o fragmentada que conforma un porcentaje de la mezcla asfáltica en caliente, los agregados más usados son arena, grava, piedra titulada o polvo de roca constituyendo así el mayor porcentaje del peso y volumen de la estructura del pavimento viendo influenciado por este mismo ya que proporciona su capacidad de resistencia. (Asfalto, 1992)

#### 1.3.1.1 Agregado grueso

Este material constructivo que compone la mezcla bituminosa posee características de resistencia y adiciona a la mezcla para soportar esfuerzos, determinado según su granulometría como (grava, gravilla, piedra), por lo general este material es retenido por el tamiz N° 4 , 4.76 mm. (Gutierrez de Lopez, 2003).

#### 1.3.1.2 Agregado fino

Este material constituye fragmentos provenientes de la desintegración de rocas por acción de factores tales como el agua o aire determinado también como aquellas partículas que pasan entre las mallas N°04 y malla N°200. (Marulanda, 2018)

#### 1.3.1.3 Cemento Portland (filler)

Proveniente de la mezcla calentada de arcilla, piedra caliza y otros componentes, obtenido por la trituración muy fina de Clinker y incineración de la mezcla en forma homogénea de los materiales, sus principales más usuales son cal, alumina, sílice, óxido de hierro, entre otros. (Miguel A, 1983).

### **1.3.2 Asfalto**

Material aglomerante, altamente impermeable, resistente y adhesivo que fluye con el calor y se deforma bajo cargas permanentes, es un componente natural en los Petróleos de mayor parte, se obtiene como parte de residuo del crudo pesado sometido a la destilación, sustancia plástica de controlable flexibilidad usada en las mezclas asfálticas, de color negro, su consistencia sólida, semisólida y líquida las cuales depende mucho de la temperatura a la cual está sometida y si es sometida a disolventes o por emulsificación. La Mezcla de diferentes hidrocarburos como parafínicos, compuestos heterocíclicos y aromáticos los cuales la mayoría son eliminados durante la refinación, quedando las moléculas más pesadas y complejas, Los hidrocarburos que conforman el asfalto tienen una solución coloidal de moléculas pesadas denominados (asfaltenos) distribuidas en un medio aceitoso denominado (maltenos) los cuales son compuestos por hidrocarburos, resinas. (Angulos Rodriguez & Durante Ayala, 2019)

Designado con las siglas CA y se clasifica por su consistencia por penetración definida como la resistencia que tiene el cemento asfáltico cuando se introduce una aguja durante un periodo de tiempo definido midiendo la consistencia y evaluando su rigidez y viscosidad, también por su grado de funcionamiento. (Hugo & Reyes Lizcano, 2015)

### **1.3.3 Caucho**

Látex extraído de un árbol denominado *hevea brasiliensis* el cual es materia prima para el caucho natural, este látex que contiene poli isopreno también contiene muchas partículas de suciedad, materia volátil, lípidos, cenizas entre otros los cuales son eliminados por el proceso de centrifugado.

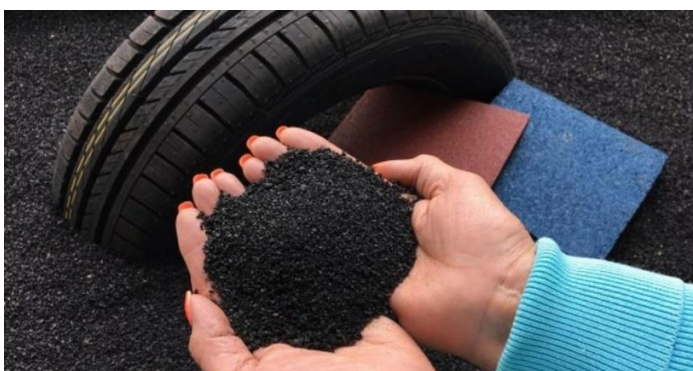
Polímero natural de peso molecular alto, formado químicamente por la polimerización de varias partículas de isopreno que al unir las conforman una macromolécula, está clasificado como parte del grupo de materiales poliméricos denominados elastómeros, los cuales poseen propiedades que pueden permitir su uso en ingeniería como resortes, neumáticos. (Yepes, 2014)



EL caucho sintético como todo material de procedencia artificial se parece al natural, pero para la obtención del mismo son necesarias una serie de reacciones químicas conocidas como polimerización y condensación de varios hidrocarburos sin saturarse estos elementos en su conjunto componen el caucho como monómeros conformando así los polímeros. (Jiménez, 2013)

### **Figura 1**

*Caucho molido de neumático*



Nota: la figura muestra caucho de neumático procesado y molido. **Fuente:** <https://laverdadnoticias.com/ecologia/Reciclar-las-llantas-Enterate-de-los-procesos--20190529-0208.html>

### **1.3.4 Plásticos**

Se define como sustancias de naturalezas diferentes que presentan deficiencia de un punto de ebullición definido y en tanto se hace la variación de temperatura, obtienen distintas propiedades como elasticidad y flexibilidad por las cuales se pueden elaborar un modelo y adaptarlas para sus distintos usos. Obtenido de gas natural o el Petróleo modificado por un proceso químico y el resultado de estas es llamado resina. (Bolaños Zea, 2019)

El plástico etimológicamente deriva principalmente de plasticidad o capacidad de ser transformado o moldeado. Compuestos por macromoléculas definidas como polímeros y formados por la intersección de moléculas más pequeñas conocidas como monómeros obtenidos mediante el proceso de polimerización con la adición de aditivos de los cuales si tiene un solo monómero se define como homopolímero si tiene más de dos se llama copolímero procedentes la mayoría del Petróleo. (Castilla, 2007)

Los plásticos evolucionaron significativamente desde el procesamiento del hule, desarrollado por rodillos calentados con vapor al mezclar aditivos con el hule, con el desarrollo de los termoplásticos comparten el paso para el calentamiento del plástico para que fluya conocido como polímero fundido con propiedades como viscosidad, visco elasticidad, índice de flujo. (Groover, 1997)

### **1.3.5 Polietileno Tereftalato (PET)**

El PET es fabricado de Petróleo, gas y aire, este se puede componer con 64% de Petróleo, 23% de gas natural y 13% de aire. Con el Petróleo crudo, se puede extraer el paraxileno el cual pasa por un proceso de oxidación con la acción del aire juntos producen ácido tereftálico. Para el etileno se produce de los derivados de gas en modo natural, que lo oxidada al ser expuesto al aire y forma etilenglicol. El PET se conforma al combinar el etilenglicol junto con el ácido tereftálico. (Bolaños Zea, 2019)

El PET su principal uso es de botellas plásticas recuperadas o recicladas, para formar nuevos productos por lo que estos envases al ser elaborados principalmente por este material, entre los usos más comunes destaca la industria de bebidas gaseosas, así como cosméticos medicinas, geotextiles, etc. (Laura & Ruiz, 2009)

Las fibras de PET es uno de los materiales comunes de botellas plásticas, material termoplástico conformado por moléculas de estructura amorfa, la elaboración de botellas PET consiste en la inyección de una forma o estructura determinada en un molde que mediante el soplado estas se enfrían controlando así sus propiedades mecánicas y concluyendo en una forma final. (Luna & Shaikh, 2020)

#### **1.3.5.1 Propiedades del PET**

las propiedades más importantes son:

- índice de: translucidez, fortaleza ante la erosión y deterioro elevado.
- Resistencia química y térmica elevado.
- índice de deslizamiento bueno.
- Bloqueador de CO<sub>2</sub>, aceptable al O<sub>2</sub> y humedad.
- Maleable a materiales usados como bloqueador
- Puede estar reciclado, pero esto reduce su viscosidad.

Las peculiaridades físicas que presenta el PET, la adaptabilidad que presenta puede tener diferentes especificaciones, los cuales han causado que el PET ha sobrepasado su crecimiento en envases plásticos y en textiles. (Tecnología de los Plásticos, 2014).

### **Figura 2**

#### *Trituración de plástico reciclado*



Nota: la figura muestra el proceso industrial de la obtención de PET. **Fuente:** [https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/innovacion-y-reciclaje-2\\_13839](https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/innovacion-y-reciclaje-2_13839)

### **1.3.6 Asfalto**

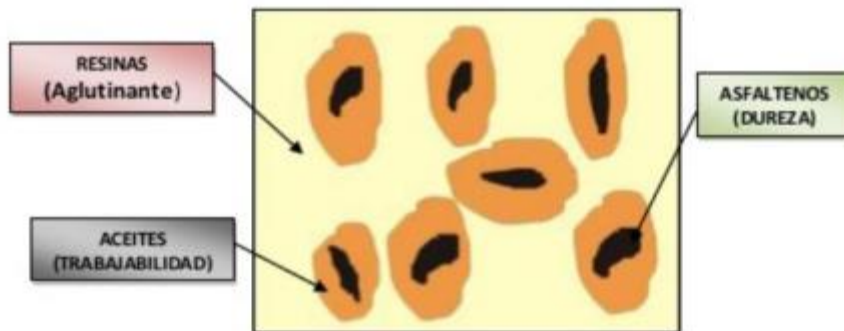
Material bituminoso en estado sólido, compuesto por hidrocarburos, las cuales varían de rigidez, este material tiene un punto de ablandamiento a los 90°C, contienen gran viscosidad que provee una mejor resistencia a las deformaciones y hace que la mezcla tenga más durabilidad. (Hugo & Reyes Lizcano, 2015)

El asfalto es un material con una mejor respuesta a los esfuerzos ejercidos, la cual depende de la temperatura, tiempo de carga por lo cual cada ensayo al misma indica que características puede tener y ser relacionado con su naturaleza de origen. (Menedez Acurio, 2009)

Mezcla de hidrocarburos derivado del Petróleo refinados por destilación del crudo en fracciones subiendo su temperatura referidos de dos tipos de refinación tales como vapor y aire, cuyo asfalto de buena calidad empleada en la construcción vial teniendo ligante y resistencia teniendo como componente principal es 84 % carbón, 10 % hidrogeno, 1 oxigeno y 5% otros elementos, las refinerías controlan sus propiedades y así obtienen diferentes tipos de viscosidades baja, media y alta. (Avellan Cruz, 2007)

**Figura 3**

*Estructura del asfalto*



Nota: la figura muestra la estructura a nivel molecular del asfalto. Fuente: (The Asphalt Institute , 1997)

### **1.3.7 Mezclas Asfálticas en caliente (MAC)**

Empleadas en vías urbanas, carreteras convencionales y aeropuertos, se utilizan en capas de rodadura, son más empleados como mezclas cerradas esta denominación se da por la proporción de huecos que hace que sea casi impermeables, protegiendo las capas como la base y sub base de la acción del agua, al ser casi impermeables pueden tener infiltración por grietas, las mezclas asfálticas en caliente son de granulometría continua, las partículas más pequeñas rellenan los espacios que dejan las más gruesas y son recubiertas de una capa de ligante y así forma una sola masa, uno de los problemas con el ligante es que por pequeños cambios pueden producir unos diferentes comportamientos. (Kraemer et al., 2004)

#### **1.3.7.1 Propiedades**

- Trabajabilidad
- Resistencia a las condiciones climáticas
- Durabilidad
- Resistencia al envejecimiento
- Impermeabilidad
- Resistencia al deslizamiento
- Resistencia a fatiga
- Resistencia bajo carga

- Resistencia a las deformaciones

Los tipos de MAC contienen agregados con granulometría y requisitos mínimos establecidos para diferentes tipos de calidades. Como también tienen diferencias para su función y estructura de pavimento y tipo o ligante usado. (Hugo & Reyes Lizcano, 2015)

Son aquellas denominadas aglomerantes y son la combinación de agregado pétreo, ligante las cuales son usadas en una carpeta asfáltica. (Alfonso, 2002)

### **1.3.8 Método Marshall en Mezclas Asfálticas en caliente**

Procedimiento por el cual se obtienen correlaciones de valores en los ensayos de laboratorio para los pavimentos flexibles, contiene el procedimiento de diseño y control de las MAC en las plantas de asfalto en el cual se agrupan una serie de parámetros que permiten obtener datos que garanticen la combinación de los agregados; de igual manera este método proporciona las propiedades de la mezcla asfálticas y establece valores de densidad y contenido de vacíos óptimos según las especificaciones establecidos, este método esta normalizado por la ASTM D1559 y AASHO T 225, por lo cual e aplicable a mezclas asfálticas en caliente con agregados pétreos finos, gruesos y cemento asfáltico con un tamaño máximo nominal (25 mm).

Este procedimiento inicia con la preparación de los materiales tanto pétreos como cemento asfáltico que cuyas especificaciones hayan cumplido con lo establecido en la norma como desgaste los ángulos, porcentaje de caras fracturadas, angularidad, etc. Para la determinación de los pesos específicos bulk, conocer el peso específico aparente del cemento asfáltico, densidad y vacíos para la determinación de la composición volumétrica de la mezcla, estabilidad y flujo en los especímenes compactados y para el contenido de asfalto se realiza la estimación recurridos mediante la experiencia del profesional a cargo. (Manual de practicas de laboratorio de pavimentos, 2017)

La metodología Marshall para el diseño de mezclas asfálticas en caliente tiene como finalidad ubicar la combinación del cemento asfáltico con los agregados

pétreos lo cual pueda brindar características adecuadas tanto físicas y resistentes y cumpla con lo establecido de calidad respectivos para el diseño de mezclas asfálticas así como esta combinación se define como la unión de los agregados pétreos con el cemento asfáltico de tal manera que pueda soportar cambios en volumen provenientes de la compactación del tráfico, por lo tanto, busca una mejor combinación para soportar las inclemencias del tiempo y cargas de tráfico que puedan suceder en la carpeta asfáltica determina un porcentaje de cemento asfáltico óptimo para combinación adecuada de los agregados, también puede proveer de referencias sobre sus propiedades en la mezcla asfáltica estableciendo densidades, porcentajes de vacíos. (Rojas & Calvo, 2017)

El método Marshall tiene como propósito usar muestras normalizadas conocidas como especímenes o probetas con dimensiones de 64 mm de espesor por 102 mm de diámetro, estas tienen la misma combinación de agregados, pero con distintos contenidos de asfalto, se prepara con un procedimiento específico al calentar, mezclar y compactar. Lo más importante en el diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método de Marshall es el análisis de la relación de vacíos – densidad y la estabilidad- flujo de los especímenes compactados. (Asfalto, 1992)

El método Marshall está dirigido para mezclas de áridos o agregados que cumplan con una especificación determinada con un tamaño tope igual o menor a 25 mm, para un tránsito definido pudiendo determinar un porcentaje de asfalto óptimo y con una energía de compactación de acuerdo al tránsito que esta entre 50 o 75 golpes por cara, para el porcentaje de cemento asfáltico con el cual se trabajó será el que tenga una superior densidad de mezcla compactada también definida como densidad máxima lograda después de la compactación en la originada por el tránsito y etapa constructiva correspondiendo a una máxima estabilidad y porcentaje de vacíos representado por el valor medio especificados para el asfalto, al determinar la media de los porcentajes de asfalto se constata que este dentro de lo establecido, y si los vacíos en agregado mineral (V.A.M.) sea superior con el tamaño máximo normal del agregado. (SOPTRAVI, 1996)

### **1.3.9 Ensayo Marshall**

Este ensayo consiste en elaborar por lo menos tres especímenes compactadas en goles de 25,50 y 75 por cada cara por cada nivel de tráfico para la cual va a ser sometida, con una granulometría requerida y con porcentajes de asfalto desde 4.5 % a 7.0%, con el propósito de realizar el diseño de la mezcla asfáltica. La temperatura de la MAC está definida por el ensayo de viscosidad al cemento asfáltico. La temperatura de los agregados debe ser la adecuada para que no tengan humedad ni comprometa la cohesión del cemento asfáltico esto evita la temprana oxidación del mismo. (Rondon Quintana, 2015)

Este ensayo Marshall (ASTM D1559) el cual ha sido desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros por conceptos elaborados por Bruce Marshall del Departamento de Transportes de Mississippi, reside en la aplicación de una carga en forma vertical en un espécimen (briqueta) ubicado horizontalmente, con una temperatura de 60°C debido a que esta temperatura es el promedio del pavimento, valor de estabilidad Marshall con la máxima carga que se produce para que el espécimen falle. (Gonzalez & Huaman, 2006)

### **1.3.10 Gravedad Especifica bulk**

Conocida como densidad de la mezcla y peso específico unitario en el cual se define como un volumen específico de mezcla, un criterio a tener en cuenta es esta es alta se obtiene un mejor rendimiento y durabilidad de la mezcla asfáltica. (ASFALTO, 1992)

Se define como la relación que existe entre el peso de la mezcla compactada en el espécimen y el volumen de la misma incluyendo el porcentaje de vacíos (SOPTRAVI, 1996).

### **1.3.11 Estabilidad Marshall**

Definida como la capacidad de una determinada mezcla para poder resistir desplazamientos y deformaciones, esta mezcla depende de su cohesión y fricción interna para las partículas de los agregados relacionados directamente con la característica en forma y textura, en la cohesión se mantiene unida por la capacidad

del ligante, y a medida que se aumenta el contenido de asfalto en la mezcla asfáltica la estabilidad aumenta. (Gonzalez & Huaman, 2006)

Carga máxima que soporta el espécimen con unidad (Kg) o en libras pudiendo resistir o soportar sin que se produzca fallas en condiciones normales. (SOPTRAVI, 1996)

#### **1.3.12 Flujo Marshall**

Está determinado por la deformación vertical global de la probeta que, al ser impuesta a la máxima carga, como el lugar donde la carga disminuye el cual indica que la deformación que esta presenta de forma permanente en da en mezclas de gradación densa. Para un flujo superior a 0.16 pulgadas indica que esta mezcla es inestable bajo una carga de tráfico. (Gonzalez & Huaman, 2006)

Se considera a la reducción del diámetro de la probeta, asignada con unidad cm o en pulgadas al momento de alcanzar una carga máxima en la dirección del espécimen. (SOPTRAVI, 1996)

#### **1.3.13 Vacíos**

El porcentaje de vacíos se define como el volumen que contiene el espécimen de los espacios entre las partículas del agregado mineral cubierto por asfalto, reflejado como porcentaje del volumen global del espécimen. (SOPTRAVI, 1996)

Se considera al aire que se aloja en los pequeños espacios de la mezcla como bolsas de aire, de mucha importancia porque cada mezcla tiene que contener un nivel específico de vacíos para si se pueda comparar. (Gonzalez & Huaman, 2006)

#### **1.3.14 Vacíos del agregado mineral**

Está definido como el volumen que abarca los espacios entre partículas de los agregados con el asfalto absorbido, también se puede decir que es el volumen que es equivalente al del agregado mineral saturado a superficie seca, representado como el porcentaje del volumen global de la mezcla compactada. (SOPTRAVI, 1996).



### **1.3.15 Relación Filler - betún**

Definida como la conexión entre el volumen que pasa el tamiz número 200 del agregado sobre el mismo que pasa por el tamiz número 200 adicionando el volumen del asfalto. (SOPTRAVI, 1996)

### **1.3.16 Contenido de cemento asfáltico**

El mayor contenido de cemento asfáltico en la mezcla genera una mayor durabilidad la cual se relaciona con la capacidad de resistir factores externos tales como la fragmentación del agregado mineral cambios que se generan en las propiedades del cemento asfáltico al separarse del agregado pétreo. (Gonzalez & Huaman, 2006)

## **1.4 Formulación del problema**

¿Será la mejor alternativa tener un diseño de una mezcla asfáltica ecológica si se usa polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido?

## **1.5 Justificación e importancia del estudio**

### **1.5.1 Justificación Técnica**

Elaborar un diseño de mezcla asfáltica ecológica usando polietileno de tereftalato reciclado y caucho molido que cumpla con la normativa nacional e internacional; rescatando los mejores métodos utilizados, sean fácil de comprender y elaborar.

### **1.5.2 Justificación Ambiental**

Considerando las nuevas alternativas para la elaboración de mezclas asfálticas con materiales alternativos tales como el caucho y plástico que son los principales residuos sólidos perjudicando al medio ambiental, proyectando una mejor utilización de estos.

### **1.5.3 Justificación Socioeconómica**

Que al diseñar una mezcla asfáltica ecológica se beneficiará a la población al reutilizar polietileno de tereftalato en consecuencia se tendrá la reducción de residuos sólidos que en gran medida son plásticos. Además, la investigación permitirá demostrar la optimización de costos y el uso prologando del pavimento mejorado.

#### **1.5.4 Importancia**

La investigación tiene mucha importancia porque permite el uso de nuevas tecnologías, aprovechamiento de los materiales desechados en la construcción de carreteras pavimentadas.

#### **1.6 Hipótesis**

Si se utiliza caucho molido y PET en las MAC entonces se podrá mejorar sus características mecánicas.

#### **1.7 Objetivos**

##### **1.7.1 Objetivo general**

Diseñar una mezcla asfáltica ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido, Lambayeque

##### **1.7.2 Objetivos específicos**

- Utilizar el método Marshall para obtener resultados de una mezcla asfáltica ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido.
- Estimar la proporción óptima del PET y Caucho Molido para diseñar una mezcla asfáltica ecológica.
- Realizar la comparación de una MAC convencional y una MAC ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido.
- Analizar costos que implican la fabricación de una mezcla asfáltica ecológica.

## II. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1 Tipo y Diseño de Investigación

#### 2.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo Tecnológico al buscar las nuevas alternativas en la solución de problemas planteando nuevos diseños y procedimientos y aplicada por que tiene como base fundamental las normativas establecidas para la solución de una problemática. (Ñaupas Paitán, 2018)

#### 2.1.2 Diseño de investigación

La presente investigación es experimental, compuesta por las variables independientes el PET y Caucho las cuales en combinación serán añadidas a una mezcla asfáltica en caliente por lo cual se observará cambios producidos en las propiedades mecánicas como variable dependiente. Para lo cual se tiene una muestra patrón de mezcla asfáltica convencional y una muestra experimental de mezcla asfáltica adicionando PET y caucho molido.

### 2.2 Población y muestra

#### 2.2.1 Población

Mezcla asfáltica en Caliente con diferentes porcentajes de PET y caucho molido, desarrolladas para el tipo de tráfico mediano, incluyendo las muestras patrón.

#### 2.2.2 Muestra

Para la determinación de la muestra patrón de mezcla asfáltica en caliente se realizó un total de (12) briquetas en porcentajes de (5 %, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%), con una temperatura de diseño de 135 °C, mostrado en la tabla 1.

**Tabla 2.**

*Determinación de muestra patrón*

Porcentajes	Nº de Briquetas
5.5 %	3
6 %	3
6.5 %	3
7 %	3
Total	12

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la determinación de la muestra solo con PET de mezcla asfáltica en caliente se realizó un total de (12) briquetas en porcentajes de (1%, 1.5%, 2%, 2.5%), con una temperatura de diseño de 135 °C, mostrado en la tabla 2.

**Tabla 3.**

*Determinación de muestra usando PET*

Porcentajes	Nº de Briquetas
1 %	3
1.5 %	3
2 %	3
2.5 %	3
Total	12

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la determinación de la muestra usando solo caucho de mezcla asfáltica en caliente se realizó un total de (12) briquetas en porcentajes de (1%, 1.5%, 2%, 2.5%), con una temperatura de diseño de 135 °C, mostrado en la tabla 3.

**Tabla 4.**

*Determinación de muestra usando Caucho*

Porcentajes	Nº de Briquetas
1 %	3
1.5 %	3
2 %	3
2.5 %	3
Total	12

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la determinación de la muestra de mezcla asfáltica en caliente modificada se realizó un total de (48) briquetas, en combinación de los porcentajes (1%, 1.5%, 2%, 2.5%) de PET y (1%, 1.5%, 2%, 2.5%) de caucho molido, con una temperatura de diseño de 135 °C. mostrado en la tabla 4.

**Tabla 5.***Determinación de muestra con combinaciones*

Combinación de Porcentajes (PET: Caucho)	Nº de Briquetas
1% : 1%	3
1.5% : 1%	3
2% : 1%	3
2.5% : 1%	3
1% : 1.5%	3
1.5% : 1.5%	3
2% : 1.5%	3
2.5% : 1.5%	3
1% : 2%	3
1.5% : 2%	3
2% : 2%	3
2.5% : 2%	3
1% : 2.5%	3
1.5% : 2.5%	3
2% : 2.5%	3
2.5% : 2.5%	3
<b>Total</b>	<b>48</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Se realizó un total de (84) las cuales 12 briquetas para la mezcla asfáltica en caliente patrón, 12 briquetas para la mezcla asfáltica en caliente modificada con PET, 12 briquetas para la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho molido y 48 briquetas para mezcla asfáltica en combinación de ambos, todas las briquetas se elaboraron con una temperatura de diseño de 135 °C. mostrado en la tabla 5.

**Tabla 6.***Resumen total de muestras*

Descripción	Nº de Briquetas
Muestra patrón	12
Muestra usando solo PET	12
Muestra usando solo Caucho	12
Muestra con combinaciones	48
<b>Total</b>	<b>84</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

## **2.3 Variables y operacionalización**

### **2.3.1 Variable independiente.**

Mezcla asfáltica en caliente: Se empleó una mezcla de agregado fino, grueso, filler y cemento asfáltico tipo PEN 60/70 con temperatura superior a los 135 °C.

### **2.3.2 Variable dependiente.**

MAC con PET: Se elaboró una mezcla asfáltica en caliente convencional agregando PET reciclado.

MAC con caucho: Se elaboró una mezcla asfáltica en caliente convencional agregando caucho molido.

**Tabla 7.***Operacionalización de Variables dependientes e independientes*

Variable	Dimensión	Indicadores	Sub Indicadores	Índices	Técnica o recolección de información
<b>DEPENDIENTE</b>	Estructura	Asfalto	Cemento asfáltico	%	Análisis Documental
		Agregados	Agregado fino	%	MTC E 204 -2000 / ASTM D422
			Agregado Grueso	%	MTC E 204 – 2000 / ASTM D422
			Filler	%	Análisis Documental
	Propiedades Mecánicas	% Vacíos	-	%	Observación y recolección de datos
		Peso Específico Bulk	-	g/cm <sup>3</sup>	Observación y recolección de datos
		V.M.A.	-	%	Observación y recolección de datos
% Vacíos llenos C.A.		-	%	Observación y recolección de datos	
	Relación Polvo/ Asfalto	-	%	Observación y recolección	

		Flujo	-	mm	de datos Observación y recolección de datos
		Estabilidad	-	kN	Observación y recolección de datos
		Estabilidad/fluencia	-	Kg/cm	Observación y recolección de datos
<b>INDEPENDIENTE</b>	Mezcla asfáltica en caliente	PET	-	%	Observación y recolección de datos
		Caucho molido	-	%	Observación y recolección de datos

**Fuente:** Elaboración Propia



## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1 Técnica de recolección de datos**

La presente investigación se usó la recolección de datos por medio de la observación, y medición.

#### **2.4.1.1 Guías de observación**

Se ha usado para cuantificar las características físicas de los materiales, por lo cual se verifica la calidad del material cumpla con lo requerido según norma, para el procedimiento de ensayo de los especímenes de mezclas asfálticas donde se obtuvo resultados y los cuales serán medidos, recolectados y registrados por los instrumentos.

#### **2.4.1.2 Análisis documental**

- a) Se empleó artículos científicos indexadas en base de datos, tesis, libros, norma técnica peruana y manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### **2.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

#### **2.4.2.1 Guías de observación**

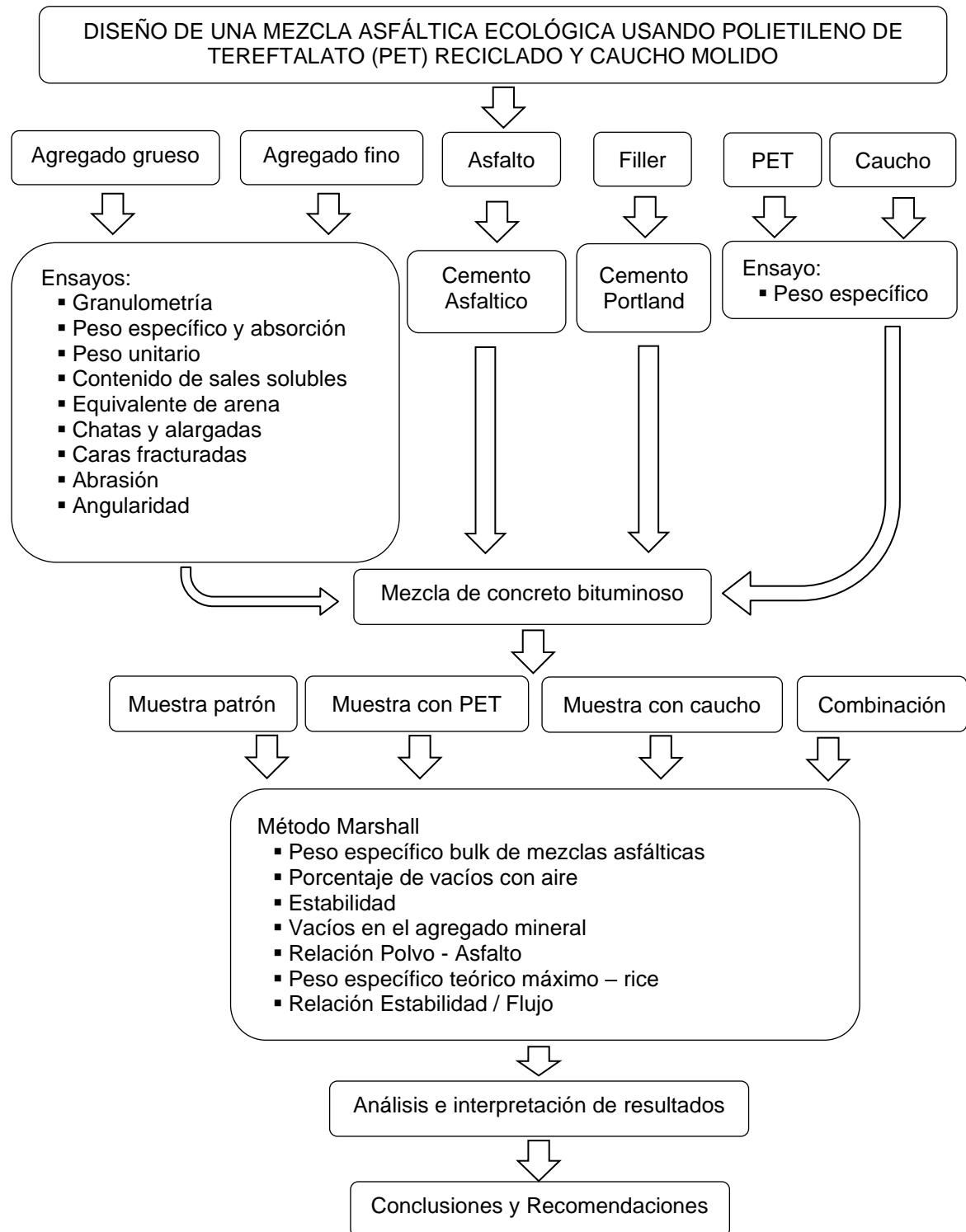
- a) Formato de Peso Específico y Absorción del agregado Fino
- b) Formato de Peso Específico y Absorción del agregado grueso
- c) Formato de determinación del límite líquido, plástico e índice de plasticidad
- d) Formato de ensayo de análisis de granulometría
- e) Formato de abrasión de los ángeles de desgaste de los agregados
- f) Formato de porcentaje de caras chatas y alargadas
- g) Formato de contenido de sales solubles
- h) Formato de peso unitario
- i) Formato de equivalente de arena
- j) Formato de angularidad
- k) Formato de gravedad específica máxima
- l) Formato de Marshall

## 2.5 Procedimiento de análisis de datos

### 2.5.1 Diagrama de flujo de procesos

**Figura 4**

Diagrama de flujo de procesos



Fuente: Elaboración Propia

## 2.5.2 Descripción del proceso

### 2.5.2.1 Obtención de materiales

#### Agregados

Los agregados grueso, fino, cemento asfáltico PEN 60/70 utilizados para la elaboración de mezcla asfáltica lo cuales han sido donados por la planta de asfalto del Gobierno Regional Lambayeque ubicada la carretera Batan grande km 5, distrito de Ferreñafe, departamento de Lambayeque.

#### **Figura 5**

*Planta de asfalto y cemento asfáltico*



Fuente: Elaboración Propia

#### Filler

Este material fue adquirido de una tienda comercial para esta investigación se adquirió 1 bolsa de cemento Pacasmayo de 42.5 kg del tipo 1.

#### **Figura 6**

*Cemento portland tipo I*



Fuente: Elaboración Propia

## **Caucho**

Este material se obtuvo de la recolección de llantas que se encuentran descontinuadas y sin uso, luego se procedió a él molido de la misma en partículas más pequeñas para su posterior uso.

### ***Figura 7***

*Caucho molido*



**Fuente:** Elaboración Propia

## **PET**

Este material se obtuvo de la recolección de botellas plásticas que se encuentran sin uso, lavado, secado y luego se procedió a él molido de la misma en partículas más pequeñas para su posterior uso.

### ***Figura 8***

*PET triturado*



**Fuente:** Elaboración Propia

### 2.5.2.2 Ensayos de calidad

#### Ensayo de Granulometría Agregado Fino y Agregado Grueso

##### Normativa

MTC E 204, NTP 400.012.

##### Equipos y herramientas

Balanzas, Tamices con abertura normada, Envases, cepillo y brocha

##### Procedimiento

La muestra tiene que estar seca, se selecciona los tamices y ordena de manera decreciente por tamaño o abertura, se limita la cantidad de material por tamizar y las partículas tengan oportunidad de ser retenidas, evitar la sobrecarga del material y continuar tamizando, posteriormente se pesa cada uno de las partículas retenidas en cada tamiz.

#### **Figura 9**

*Tamices normalizados*



Fuente: Elaboración Propia

#### Ensayo de Peso específico y Absorción Agregado Fino

##### Normativa

MTC E 205, NTP 400.022

##### Equipos y herramientas

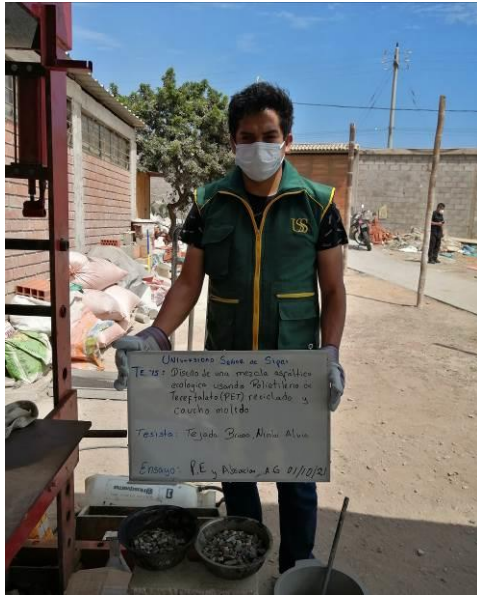
Balanza, estufa, fiola de 500cm<sup>3</sup>, molde cónico, varilla para apisonado.

##### Procedimiento

Se procede a llenar la fiola con el material con agua luego agitar para eliminar burbujas de aire por aproximadamente 15 min, luego ajustar la temperatura del frasco y contenido, llenar el frasco hasta el tope, peso total frasco, espécimen y agua, finalmente remover el agregado del frasco, secar y pesar.

### **Figura 10**

#### **Ensayo de peso específico y absorción AF**



Fuente: Elaboración Propia

### **Ensayo de Peso específico y Absorción Agregado Grueso**

#### **Normativa**

MTC E 206, NTP 400.021.

#### **Equipos y herramientas**

Balanza, tamices n°4 y otros, depósito de agua, estufa

#### **Procedimiento**

Secar la muestra, sumergir el agregado en agua por un periodo de 24 horas, pasado el tiempo remover y secar superficialmente con un paño, obtener el peso de la muestra superficialmente seca, colocar la muestra en la cesta de alambre y determinar el peso del agua, luego secar la muestra y pesar.

## **Figura 11**

*Ensayo de peso específico y absorción AG*



**Fuente:** Elaboración Propia

## **Ensayo de Limite liquido**

### **Normativa**

MTC E 110, NTP 339.129.

### **Equipos y herramientas**

Espátula, recipiente para almacenar de porcelana, balanza, agua destilada, copa Casagrande, acanalador, calibrador.

### **Procedimiento**

Se coloca la muestra en la copa Casagrande nivelar con la espátula, con la ranura se procede del punto más alto al más bajo en forma de abertura, posteriormente girar la manivela en velocidades de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que la muestra se cierre, registrar el número de golpes necesarios para cerrar la ranura, mezclar nuevamente toda la muestra y añadir agua destilada y repetir el proceso por un cierre de 25 a 35 golpes otra para 20 a 30 golpes y otra prueba de 15 a 225 golpes.



**Figura 12**

*Ensayo de limites*



Fuente: Elaboración Propia

### **Ensayo de Limite plástico e índice de plasticidad**

#### **Normativa**

MTC E 111 – NTP 339.129.

#### **Equipos y herramientas**

Espátula, recipiente para almacenar de porcelana, balanza, horno, tamiz, agua destilada, láminas de vidrio, vidrio grueso.

#### **Procedimiento**

Se coloca la muestra en las láminas de vidrio y con los dedos se comprimen para así formar cilindros delgados y repetir el proceso hasta que se fracture.

**Figura 13**

*Ensayo de limites*



Fuente: Elaboración Propia



## **Ensayo de Contenido de sales solubles**

### **Normativa**

MTC E 219, Manual de carreteras - chile

### **Equipos y herramientas**

Balanza, estufa, plancha de calentamiento, mecheros, matraz, vaso precipitado, pipeta, probeta.

### **Procedimiento**

Se necesita una muestra seca, se coloca la muestra en un vaso precipitado y agrega agua destilada hasta cubrir, agitar durante 1 minuto hasta completar 4 ciclos por 10 minutos, esperar que la mezcla se decante y repetir el proceso luego vaciar los liquitos sobre decantados en un matraz, tomar una alícuota de un volumen de 50 ml a 100 ml posteriormente llevar al horno luego pesar.

## **Figura 14**

### *Ensayo de sales solubles*



Fuente: Elaboración Propia

## **Ensayo de Equivalente de arena**

### **Normativa**

MTC E 114 – NTP 339.146:2000.

### **Equipos y herramientas**

Cilindro graduado, tapón de jebes, tubo irrigador, horno, tamiz n°04, embudo, botellas de solución, platillo plano, reloj, papel filtro.

### **Procedimiento**

La muestra de suelo se seca y se pasa por el tamiz número N°4 y se pesa 100 g para el ensayo realizado, se vierte agua destilada en la probeta graduada hasta cierta altura, luego se pesa el suelo en la probeta graduada utilizando un embudo de plástico, se deja reposar por 10 min (muestra de 100 g con agua dentro del tubo de ensayo). Durante 10 min, la muestra se movió horizontalmente con 90 movimientos en 30 s. Después de moverlo, déjalo reposar durante 20 minutos. Después de 20 minutos se tomaron los datos de finura y arena, y finalmente con los datos obtenidos se procedió al cálculo y discusión según norma.

### **Figura 15**

*Ensayo equivalente de arena*



Fuente: Elaboración Propia

### **Ensayo de Chatas y alargadas**

#### **Normativa**

ASTM 4791.

#### **Equipos y herramientas**

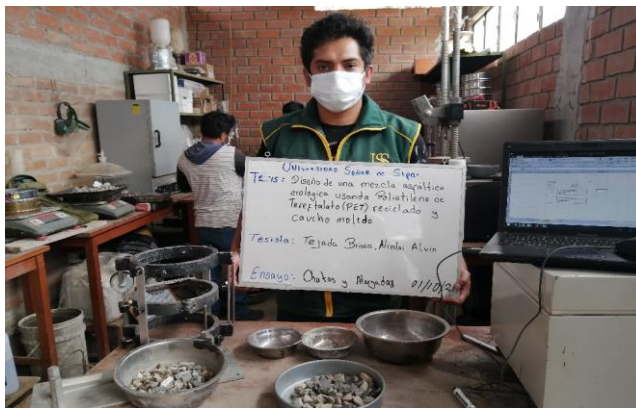
Aparato para ensayar las partículas, Dispositivo calibrador, balanza.

## Procedimiento

Las partículas individuales de agregado pétreos de tamaños de mallas específicas se miden para determinar las relaciones de ancho/espesor, la longitud y la anchura o longitud a espesor con una determinada relación según norma, obteniéndose porcentajes de partículas chatas y alargadas los cuales se comparan con el porcentaje máximo admisible para su uso de la MAC. Se considerará partícula chata alargada a aquella que cumpla con:  $e/L < 1/5$  Donde: e: espesor L: largo.

**Figura 16**

*Ensayo chatas y alargadas*



Fuente: Elaboración Propia

## Ensayo de Caras fracturadas

### Normativa

ASTM 4791, ASTM C125, ASTM C136, ASTM C670, ASTM C702, ASTM D75, ASTM E11.

### Equipos y herramientas

Aparato calibrador, balanza.

### Procedimiento

Se necesita una muestra seca al horno, se ensaya las partículas de caras fraccionadas y se coloca en tres grupos planas, alargadas y ni planas ni alargadas, después de haber clasificado y agrupado las partículas se cuenta cada una de ellas o se pesa.

## **Figura 17**

*Caras fracturadas*



Fuente: Elaboración Propia

### **Ensayo de Angularidad**

#### **Normativa**

MTC E 222, National aggregates association

#### **Equipos y herramientas**

Tamices N°8 y N°200, cilindro metálico, embudo metálico, marco metálico

#### **Procedimiento**

Para este ensayo tenemos en cuenta lo que pasa la malla N°8 y se retenga en la malla N°200, luego se determina la gravedad específica del agregado y por último se adiciona la arena en el embudo hasta llenas y tener el volumen conocido y se pesa.

### **Ensayo de Abrasión los Ángeles**

#### **Normativa**

MTC E 207 – NTP 400.019

#### **Equipos y herramientas**

Maquina los Ángeles, tamices, balanza, esferas de acero.

#### **Procedimiento**

se coloca la muestra y la carga (esferas de acero) en la maquina los Ángeles y rotarla de 30 a 33 rpm, por 500 revoluciones, descargar y tamizar, lavar el material más grueso por la malla 1.70 mm y secar al horno luego pesar.

**Figura 18**

*Maquina los ángeles*



Fuente: Elaboración Propia

## **Resistencia de mezclas bituminosas empleando aparato Marshall**

### **Normativa**

ASTm-D6926, ATM D6927.

### **Equipos y herramientas**

Molde para especímenes, placa base, collarines, extractor de especímenes, martillos de compactación, Pedestal de compactación, sostén de molde para espécimen, horno, aparato para mezclado, bandejas metálicas, cucharón de acero, termómetro calibrado, balanza, guantes, equipo para estabilidad y flujo.

### **Procedimiento**

Se preparan los agregados ubicándolos en el horno con una temperatura constante, proceder a pesar cada uno de los materiales para por lo menos 3 o 4 especímenes compactados cargar el contenedor y combinar en calientes posteriormente hacer una abertura en el centro para así poder agregar el cemento asfáltico y mezclar con una espátula por un tiempo de 120 segundos aproximadamente para especímenes múltiples, acondicionar los moldes metálicos previamente calentados en una estufa o horno, la placa deberá esta calentada a una temperatura de 90°C a 150°C, colocar un papel en la parte inferior que no sea absorbente cortado en forma circular colocar la mezcla en partes y chusear 10 veces luego colocar otro papel y tapar,

finalmente ensamblado el pedestal se procede a la compactación de los especímenes con el martillo.

**Figura 19**

*Aparato Marshall*



**Fuente:** Elaboración Propia

### 2.5.3 Requisitos para agregados y MAC

Los agregados (grueso y fino) tienen que cumplir con los requerimientos establecidos por el MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES EG – 2013, tablas 423-01 y 423-02, hasta una altitud menor a 3000 m.s.n.m. mostrados en la tabla 7, tabla 8 y tabla 9.

**Tabla 8.**

*Requisitos para agregado fino*

Ensayo	Norma	Requerimiento Altitud (msnm) < 3.000
Equivalente de arena	MTC E114	60
Angularidad del agregado fino	MTC E222	30
Índice de plasticidad (malla n°200)	MTC E111	4 max
Sales Solubles Totales	MTC E219	0.5 % max
Absorción	MTC E205	0.5 % max

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 9.***Requisitos para agregado grueso*

Ensayo	Norma	Requerimiento Altitud (msnm) < 3.000
Sales solubles totales	MTC E219	0.5 % máx.
Abrasión los ángeles	MTC E209	40 % máx.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10 % máx.
Caras fracturadas	MTC E210	85/50
Absorción	MTC E206	1.0 % max

**Fuente:** Elaboración Propia**Tabla 10.***Gradaciones para MAC*

Tamiz	Porcentaje que pasa MAC-2
250 mm (1")	-
19.0 mm (3/4")	100
12.5 mm (1/2")	80 - 100
9.5 mm (3/8")	70 - 88
4.75 mm (Nº 4)	51 - 68
2.00 mm (Nº 10)	38 - 52
425 um (Nº 40)	17 - 28
180 um (Nº 80)	8 - 17
75 um (Nº 200)	4 - 8

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 11.**

*Parámetros de mezclas bituminosas MTC E 504*

Parámetro de diseño	Clase de mezcla B
Numero de golpes por lado	50
Estabilidad	5.44 kN min.
Flujo	8-16 mm.
Porcentaje de vacíos en aire	3 - 5 %
VMA	14 min
Vacíos en el agregado mineral	65 - 78
Relación polvo-asfalto	0.6 - 1.3
Relación estabilidad/ flujo	1700 - 4000 kg/cm

**Fuente:** Elaboración Propia

Para el diseño de una Mezcla asfáltica tiene que cumplir con los parámetros establecidos en la tabla 10 de acuerdo a la norma MTC EG-2013 en su tabla 423-03 requerimientos para mezclas bituminosas.

## **2.6 Criterios éticos**

### **2.6.1 Ética en Recolección de datos**

La información obtenida sigue procedimientos establecidos en la Norma técnica peruana y manuales del ministerio de transportes y comunicaciones, siendo complementadas con la guía de los especialistas.

## **2.7 Criterios de rigor científico**

### **Veracidad**

Los resultados obtenidos de los ensayos demuestran que la información recolectada y proporcionada es veraz.

### **Honestidad**

La verificación de lo propuesto al no alterar los datos para que los resultados puedan dirigirse a lo que se pretende demostrar la honestidad es la relación del comportamiento hacia los demás. Prevalciendo este criterio y frase conocida de "Dar al César lo que es del César y a Dios lo que es de Dios" ("dar a cada uno lo que le corresponde"). (Joel, 2015)



### III. RESULTADOS

Para el diseño de una mezcla asfáltica ecológica los materiales tales como el agregado grueso y agregado fino deben cumplir con lo establecido en la tabla 7 y tabla 8, las Gradaciones usadas en MAC para un óptimo desempeño con la tabla 9 y en la tabla 10 los requerimientos para las mezclas bituminosas, en el siguiente punto se presenta los resultados obtenidos para los agregados.

#### 3.1 Resultados en Tablas y figuras

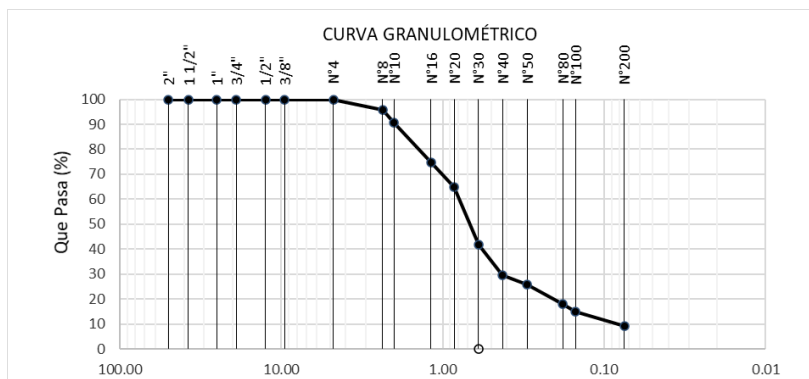
##### Ensayo a los agregados

##### Análisis Granulométrico Agregado Fino (AF)

En relación con el análisis granulométrico del agregado fino usado se obtiene los siguientes resultados. Para una masa inicial seca de 500 gramos.

##### Figura 20

Curva granulométrica Agregado Fino



Fuente: Elaboración Propia

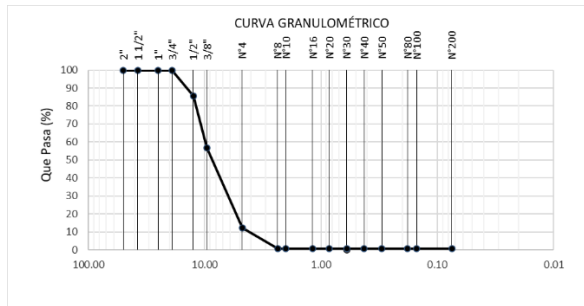
De la figura 21. La curva granulométrica agregado fino, se observa que contiene un tamaño uniforme así mismo presencia de mayor cantidad de material que pasa acumulado entre la malla N°08 y N°30.

##### 3.1.1.1 Análisis Granulométrico Agregado Grueso (AG)

En relación con el análisis granulométrico del agregado grueso usado se obtiene los siguientes resultados. Para una masa inicial seca de 3944.1 gr.

**Figura 21**

**Curva granulométrica Agregado grueso**



**Fuente:** Elaboración Propia

De la figura 22. La curva granulométrica agregado fino, se observa que contiene un tamaño uniforme así mismo presencia de mayor cantidad de material granular grueso comprendido entre la malla N°3/4" y N°4 con poca presencia de material fino.

### 3.1.1.2 Resultados de ensayos realizados a los agregados

**Tabla 12.**

*Resultado de los agregados*

<b>ENSAYO</b>	<b>(AF)</b>	<b>(AG)</b>
Equivalente de arena	60 %	-
Índice de plasticidad	2.1 %	-
Sales solubles totales	0.34 %	0.34 %
Absorción	0.47 %	0.94 %
Abrasión los ángeles	-	14.40 %
Partículas chatas y alargadas	-	7.7 %
Partículas fracturadas	-	85.6/82.2

**Fuente:** Elaboración Propia

De los resultados de la tabla 11 presenta los valores obtenidos de los ensayos que fueron realizados a los materiales AG y AF con un contenido de sales solubles dentro del rango establecido, así mismo gran presencia de partículas fracturadas.

### Diseño de MAC patrón mediante método Marshall

Para el diseño de MAC se consideró el diseño clase B para una muestra patrón y se verificó que los agregados cumplan con los requerimientos según norma.

#### 3.1.1.3 Dosificación para los agregados

Los agregados se dosificaron según lo mostrado en la tabla 12, la gradación de mezclas asfálticas en caliente tipo MAC-2, se usó la proporción de 43 % de agregado grueso, 56 % de agregado fino y 1% de Filler, con un peso total acumulado de 1200 g por mezcla asfáltica.

**Tabla 13.**

*Porcentajes de materiales*

Malla		43%	56%	1%	100%
		% Que Pasa			
Pulg.	(mm.)	AG	AF	Filler	Combinado
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.500	85.5	100.0	100.0	93.8
3/8"	9.500	56.8	100.0	100.0	81.4
Nº 4	4.750	12.4	100.0	100.0	62.3
Nº 10	2.000	0.7	90.5	100.0	52.0
Nº 40	0.425	0.7	29.4	100.0	17.7
Nº 80	0.180	0.6	17.9	100.0	11.3
Nº200	0.075	0.5	9.3	100.0	6.4

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 14.**

*Peso de los materiales según porcentaje de asfalto*

Agregados	Porcentajes usados			
Agregado Grueso	43 %	43 %	43 %	43 %
Agregado Fino	56 %	56 %	56 %	56 %
Filler	1%	1%	1%	1%
Asfalto	5.5 %	6 %	6.5 %	7 %

Fuente: Elaboración Propia

Por ello se calculó los pesos de los materiales a usar según los porcentajes 5.5%,6%,6.5%,7% de asfalto mostrados en la tabla 13 y así mediante los ensayos obtener el porcentaje de asfalto óptimo para la muestra patrón.

### 3.1.1.4 Peso específico bulk

En este ensayo se determina la gravedad específica en promedio por muestras y la cantidad de vacíos de los especímenes en el método Marshall.

**Tabla 15.**

*Resumen de muestra patrón según porcentaje de asfalto*

Porcentaje de asfalto	Peso Específico
5.5 %	2.247
6 %	2.312
6.5 %	2.315
7 %	2.351

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 14 se muestra el porcentaje de peso específico BULK el mismo tiende a subir a medida que aumenta el porcentaje de asfalto en la mezcla.

### 3.1.1.5 Estabilidad y flujo

La relación de estabilidad y flujo determinada por la estabilidad entre el flujo de la mezcla por durante el proceso de Marshall en el cual se obtiene según el porcentaje de asfalto en la mezcla.

**Tabla 16.**

*Muestra patrón con un porcentaje de 5.5 % de asfalto*

Porcentaje de asfalto	Estabilidad / flujo
5.5 %	2409.99
6 %	1988.41
6.5 %	1697.36
7 %	1143.47

Fuente: Elaboración Propia

Para la relación de estabilidad y flujo se procedió según porcentaje de asfalto en mezcla así mismo en la tabla 15 se muestra la variación de la misma inversamente proporcional al contenido de betún.

### 3.1.1.6 Peso específico teórico máximo

Se obtuvo los siguientes resultados según porcentaje de asfalto en la mezcla.

**Tabla 17.**

*Muestra patrón según porcentaje de asfalto*

Porcentaje de asfalto	Rice
5.5 %	2.374
6 %	2.445
6.5 %	2.397
7 %	2.383

**Fuente:** Elaboración Propia

De la tabla 16 para el peso teórico máximo según porcentaje de asfalto en mezcla se muestra la variación de la misma inversamente proporcional al contenido de betún.

### 3.1.1.7 Porcentaje de vacíos

Se obtuvo los siguientes resultados según porcentaje de asfalto en la mezcla.

**Tabla 18.**

*Muestra patrón según porcentaje de asfalto*

Porcentaje de asfalto	% Vacíos
5.5 %	5.349
6 %	5.456
6.5 %	3.389
7 %	1.333

**Fuente:** Elaboración Propia

De la tabla 17 para el porcentaje de vacíos en la mezcla según porcentaje de asfalto en mezcla se muestra la variación de la misma inversamente proporcional al contenido de betún así mismo a partir de un contenido de betún 6.5% a 7 % tiene una variación drástica del porcentaje de vacíos.

### 3.1.1.8 Método MARSHALL

Se muestra los resultados de las características en el método Marshall

**Tabla 19.**

*Muestra patron según porcentaje de asfalto*

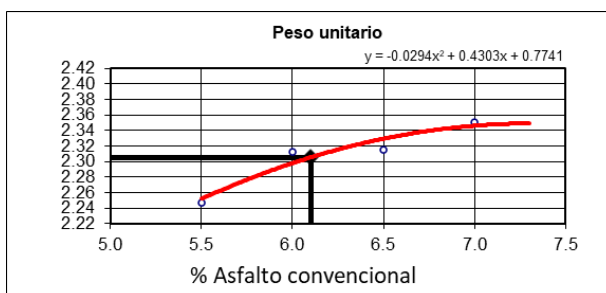
Porcentaje Asfalto	%	5.5 %	6 %	6.5 %	7 %
Agregado Grueso	%			43 %	
Agregado Fino	%			56 %	
Filler	%			1 %	
Altura Promedio	cm	65.57	64.11	63.73	63.21
Diámetro Promedio	cm	102.05	102.12	102.02	101.94
Peso Específico Efectivo	g/cm <sup>3</sup>	2.574	2.686	2.646	2.650
Peso Específico Máximo	-	2.374	2.445	2.397	2.383
Peso específico Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.247	2.312	2.315	2.351
Porcentaje de Vacíos	%	5.349	5.456	3.389	1.333
VMA	%	20	18.2	18.5	17.7
Vacíos llenados con C.A	%	73.9	70.0	81.9	92.6
polvo / asfalto	-	1.04	0.88	1.04	1.11
Flujo	mm	12	16	20.3	28.5
Estabilidad	kN	10.96	12.25	12.49	12.29
Estabilidad / Flujo	kg/cm	2409.99	1988.41	1697.36	1143.47

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 18 se observa los datos obtenidos para la estimación del contenido óptimo de asfalto que este dentro de los parámetros según tabla 10, así mismo se determina las mejores características de la mezcla.

**Figura 22**

*Peso unitario*

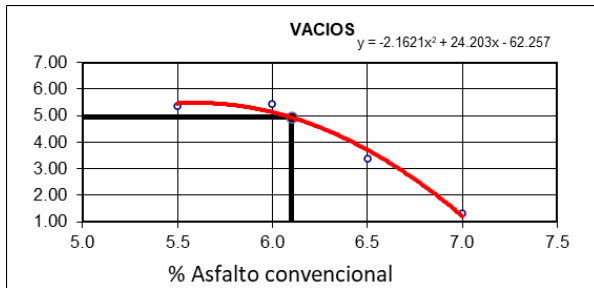


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 23 se observa que el peso unitario tiende a aumentar a medida que sube el porcentaje de asfalto en la mezcla.

**Figura 23**

Porcentaje de vacíos

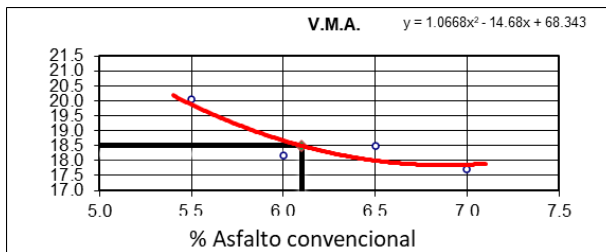


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 24 se observa el porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el porcentaje de asfalto en mezcla.

**Figura 24**

V.M.A.

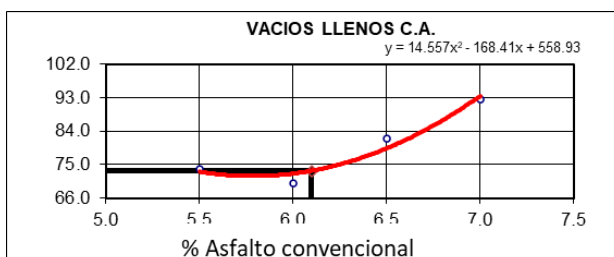


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 25 se observa que el V.M.A. disminuye a medida que el porcentaje de asfalto en la mezcla aumenta.

**Figura 25**

Vacíos llenos de C.A.

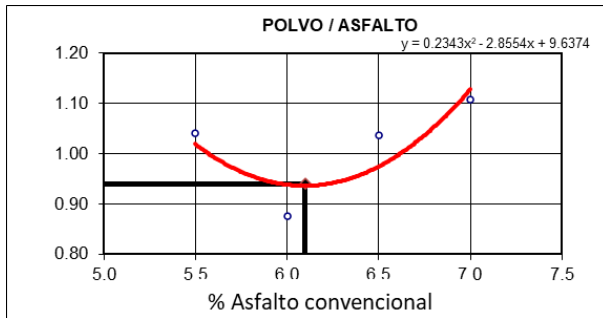


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 26 se observa que los vacíos llenos de cemento asfáltico aumenta conjuntamente con el porcentaje de asfalto en la mezcla.

**Figura 26**

*Relación polvo/asfalto*

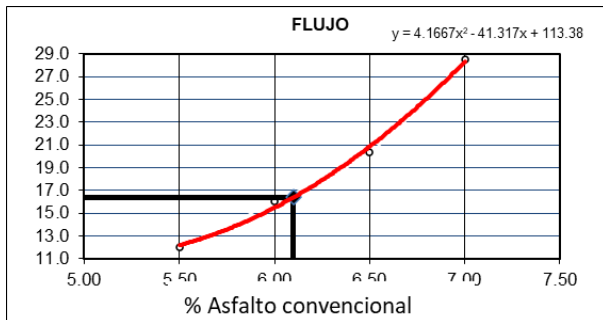


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 27 se observa que la relación polvo asfalto disminuye luego tiende a aumentar según el porcentaje de asfalto en la mezcla.

**Figura 27**

*Flujo*

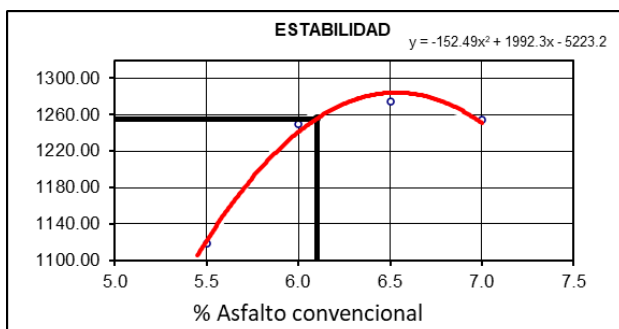


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 28 se observa que el flujo de la mezcla tiende a aumentar esto indica que la falla del espécimen se deforma más rápido.

**Figura 28**

*Estabilidad Marshall*



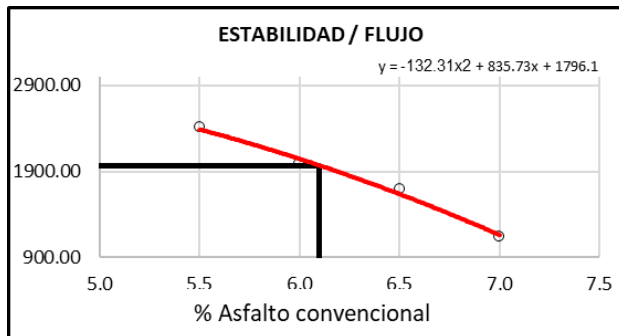
Fuente: Elaboración Propia



De la figura 29 se observa que la estabilidad del espécimen o la cantidad de fuerza que soporta aumenta tiene un punto máximo y luego disminuye según el porcentaje de asfalto en mezcla.

**Figura 29**

*Estabilidad/Flujo*



Fuente: Elaboración Propia

De la figura 30 se observa la relación de la estabilidad del espécimen y el flujo de la misma que tiende a disminuir según el porcentaje de asfalto en mezcla.

**Tabla 20.**

*Características marshall*

CARACTERÍSTICAS MARSHALL		
GOLPES	50	50
% C. A.	6.10	
P. Unitario	2.305	
Vacíos	4.9	3 - 5
V.M.A.	18.5	15.0
V. LL.C.A.	73.3	65-78
Polvo / asfalto	0.94	0.6 - 1.3
Flujo	16	8-16
Estabilidad	12.3	5.44 kN.
Estabilidad/ flujo	1970.8	1700 - 4000

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 19 se estimó el porcentaje de asfalto óptimo que cumplía con las características establecidas según normativa mostrada en la tabla 10 para mezcla bituminosas llegando al resultado de 6.1% para la muestra patrón, con este porcentaje se usó para la adición de PET y caucho en mezcla.

### Diseño de MAC adicionando PET

Luego de obtener el porcentaje óptimo de asfalto de 6.1%, se trabajó la MAC clase B adicionando PET usando los siguientes porcentajes de 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, al peso de la mezcla.

#### 3.1.1.9 Rice de mezcla adicionando PET

Se obtuvo los siguientes resultados según porcentaje de PET en mezcla.

**Tabla 21.**

*Gravedad Específica Teórica Máxima*

Porcentaje de PET	Rice
1 %	2.616
1.5 %	2.554
2 %	2.441
2.5 %	2.545

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la tabla 20 se observó que la gravedad específica teórica máxima disminuye a medida que se agrega mayor porcentaje de PET en la MAC.

**Tabla 22.**

*Metodo Marshall adicionando PET*

Porcentaje de PET	%	1%	1.5 %	2 %	2.5 %
Porcentaje de asfalto	%			6.1 %	
Agregado Grueso	%			43 %	
Agregado Fino	%			56 %	
Filler	%			1 %	
Altura Promedio	cm	101.87	101.73	101.59	101.81
Diámetro Promedio	cm	65.68	67.27	63.54	66.09
% Vacíos	%	12.2	15.0	33.9	34.6
Peso Específico Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.310	2.242	1.745	1.734
V.M.A.	%	16.3	18.1	35.6	35.5
% Vacíos llenos C.A.	%	25.4	17.2	7.5	4.0
Relación Polvo/ Asfalto	%	0.34	0.30	0.26	0.24
Flujo	mm	22.3	23.5	20.7	21.7
Estabilidad	kN	17.06	14.06	13.05	13.43
Estabilidad / Flujo	kg/cm	1976	1612	1691	1665

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la tabla 21 Se obtuvo los resultados del método Marshall según el porcentaje de PET en la MAC el cual disminuye las características físicas de la mezcla, así mismo no logra cumplir con lo establecido de la tabla 10.

## Diseño de MAC adicionando Caucho

Al obtener el porcentaje óptimo de asfalto de 6.1 %, se trabajó la MAC tipo B para tráfico mediano adicionando Caucho, se usaron los siguientes porcentajes en porcentajes de 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, al peso de la mezcla.

### 3.1.1.10 Rice de mezcla adicionando PET

**Tabla 23.**

*Gravedad Específica Teórica Máxima*

Porcentaje de caucho	Rice
1 %	2.616
1.5 %	2.554
2 %	2.441
2.5 %	2.545

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la tabla 22 se observó que la gravedad específica teórica máxima disminuye a medida que se agrega mayor porcentaje de caucho en la MAC.

**Tabla 24.**

*Metodo Marshall MAC-2 adicionando Caucho*

Porcentaje de Caucho	%	1 %	1.5 %	2 %	2.5 %
Porcentaje de asfalto	%		6.1 %		
Agregado Grueso	%		43 %		
Agregado Fino	%		56 %		
Filler	%		1 %		
Altura Promedio	cm	64.61	66.27	69.23	70.11
Diámetro Promedio	cm	102.13	101.98	102.01	102.79
% Vacíos	%	11.7	12.2	9.4	17.2
Peso Específico Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.310	2.242	2.210	2.107
V.M.A.	%	16.3	18.0	18.3	21.4
% Vacíos llenos C.A.	%	28.2	32.0	48.5	19.5
Relación polvo/asfalto	%	0.37	0.49	0.75	0.45
Flujo	mm	26.5	23.5	27.0	30.7
Estabilidad	kN	14.0	9.2	6.1	4.9
Estabilidad / Flujo	kg/cm	1379	1020	599	415

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la tabla 23 Se obtuvo los resultados del método Marshall según el porcentaje de caucho en la MAC el cual disminuye las características físicas de la mezcla, así mismo no logra cumplir con lo establecido de la tabla 10.

**Del primer objetivo:**

**Utilizar el método Marshall para obtener resultados de una mezcla asfáltica ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido**

**3.1.1.11** Diseño de MAC con PET y Caucho método Marshall

Determinación de las combinaciones que se usó.

**Tabla 25.**

*Combinación de porcentajes de PET y caucho*

Combinación de Porcentajes (PET: Caucho)
1% : 1%
1.5% : 1%
2% : 1%
2.5% : 1%
1% : 1.5%
1.5% : 1.5%
2% : 1.5%
2.5% : 1.5%
1% : 2%
1.5% : 2%
2% : 2%
2.5% : 2%
1% : 2.5%
1.5% : 2.5%
2% : 2.5%
2.5% : 2.5%

**Fuente:** Elaboración Propia

En la tabla 24 se determinó la cantidad de combinaciones que se realizó en laboratorio un total de 16 combinaciones adicionados en la mezcla entre PET y caucho.

**3.1.1.12** RICE de combinaciones

Se obtuvo los siguientes resultados.

**Tabla 26.**

*Ensayo RICE de combinaciones*

Porcentajes de PET y caucho	Rice
1 % : 1%	2.431
1% : 1.5 %	2.484

1 % : 2 %	2.530
1 % : 2.5 %	2.472
1.5 % : 1%	2.611
1.5 % : 1.5 %	2.502
1.5 % : 2 %	2.524
1.5 % : 2.5 %	2.536
2 % : 1%	2.528
2 % : 1.5 %	2.550
2 % : 2 %	2.546
2 % : 2.5 %	2.494
2.5 % : 1%	2.616
2.5 % : 1.5 %	2.568
2.5 % : 2 %	2.484
2.5 % : 2.5 %	2.540

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 25 se observa el resultado del ensayo RICE en las combinaciones usadas en mezcla así mismo se aprecia que a medida que aumenta el porcentaje de PET y caucho esta gravedad especifica aumenta llega a un punto alto y luego tiende a disminuir.

### 3.1.1.13 Método Marshall en combinaciones

Se obtuvo los resultados del método Marshall para las combinaciones de PET y caucho en mezcla.

**Tabla 27.**

*Metodo Marshall con PET 1% y caucho*

Porcentaje de (PET: CAUCHO)	%	1%:1%	1%:1.5 %	1%:2 %	1%:2.5 %
Porcentaje de asfalto	%			6.1 %	
Agregado Grueso	%			43 %	
Agregado Fino	%			56 %	
Filler	%			1 %	
Altura Promedio	cm	65.80	71.95	70.18	71.68
Diámetro Promedio	cm	102.13	102.17	102.46	102.33
% Vacíos	%	5.0	9.9	11.8	16.7
Peso Específico Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.31	2.24	2.23	2.06
V.M.A.	%	14.6	16.4	15.9	21.6
% Vacíos Llenos C.A.	%	65.7	42.3	26.1	23
Relación Polvo/ Asfalto	%	0.75	0.58	0.43	0.55
Flujo	mm	16.0	24.7	34.5	30.0
Estabilidad	kN	10.96	6.99	9.10	5.71
Estabilidad / Flujo	kg/cm	1794	1181	772	498

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas 26 Se obtuvo los resultados del método Marshall para las combinaciones de PET al 1% constante y el porcentaje de caucho de 1%, 1.5%, 2% y 2.5% así mismo para el porcentaje de vacíos, flujo aumentan con la adición de caucho, también el contenido de VMA, polvo/asfalto estabilidad disminuye.

**Tabla 28.**

*Metodo Marshall con PET 1.5% y caucho*

Porcentaje de (PET: CAUCHO)	%	1.5%:1%	1.5%:1.5 %	1.5%:2 %	1.5%:2.5 %
Porcentaje de asfalto	%			6.1 %	
Agregado Grueso	%			43 %	
Agregado Fino	%			56 %	
Filler	%			1 %	
Altura Promedio	cm	69.98	69.04	70.44	71.49
Diámetro Promedio	cm	102.60	102.07	101.78	102.20
% Vacíos	%	18.24	14.36	14.10	18.08
Peso Específico Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.59	2.58	2.57	2.55
V.M.A.	%	21.06	20.01	18.29	20.96
% Vacíos llenos C.A.	%	13.40	29.26	22.97	13.94
Relación Polvo/ Asfalto	%	0.31	0.55	0.46	0.40
Flujo	mm	32	27.33	27.50	28.67
Estabilidad	kN	6.86	8.86	9.28	7.36
Estabilidad / Flujo	kg/cm	555.90	839.82	869.17	667.84

**Fuente:** Elaboración Propia

En las tablas 27 Se obtuvo los resultados del método Marshall para las combinaciones de PET al 1.5% constante y el porcentaje de caucho de 1%, 1.5%, 2% y 2.5% así mismo con la adición de caucho la mezcla disminuye sus propiedades mecánicas en todas sus características.

**Tabla 29.**

*Metodo Marshall con PET 2% y caucho*

Porcentaje de (PET: CAUCHO)	%	2%:1%	2%:1.5 %	2%:2 %	2%:2.5 %
Porcentaje de asfalto	%			6.1 %	
Agregado Grueso	%			43 %	
Agregado Fino	%			56 %	
Filler	%			1 %	
Altura Promedio	cm	67.85	68.63	69.39	72.91
Diámetro Promedio	cm	102.85	102.64	102.00	101.98
% Vacíos	%	14.43	16.01	17.55	14.88

Peso Específico Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.58	2.57	2.56
V.M.A.	%	20.01	20.06	20.90	19.24
% Vacíos llenos C.A.	%	28.02	20.68	16.06	22.71
Relación Polvo/ Asfalto	%	0.53	0.45	0.43	0.53
Flujo	mm	30.33	25.50	29.67	28.00
Estabilidad	kN	8.52	7.37	6.52	7.28
Estabilidad / Flujo	kg/cm	730.77	752.24	572.66	674.62

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas 28 Se obtuvo los resultados del método Marshall para las combinaciones de PET al 2% constante y el porcentaje de caucho de 1%, 1.5%, 2% y 2.5% así mismo con la adición de caucho la mezcla disminuye sus todas sus propiedades mecánicas.

**Tabla 30.**

*Metodo Marshall con PET 2.5% y caucho*

Porcentaje de (PET: CAUCHO)	%	2.5%:1%	2.5%:1.5 %	2.5%:2 %	2.5%:2.5 %
Porcentaje de asfalto	%			6.1 %	
Agregado Grueso	%			43 %	
Agregado Fino	%			56 %	
Filler	%			1 %	
Altura Promedio	cm	70.75	69.1	70.97	73.35
Diámetro Promedio	cm	102.09	102.26	102.64	101.97
% Vacíos	%	21.57	16.95	13.39	19.24
Peso Específico Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.61	2.59	2.58	2.57
V.M.A.	%	24.14	20.37	18.91	21.95
% Vacíos llenos C.A.	%	10.67	16.95	29.20	12.62
Relación Polvo/ Asfalto	%	0.33	0.42	0.60	0.43
Flujo	mm	25.50	29.50	31.00	30.00
Estabilidad	kN	6.51	7.87	6.96	4.91
Estabilidad / Flujo	kg/cm	664.49	692.38	582.57	425.30

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas 29 Se obtuvo los resultados del método Marshall para las combinaciones de PET al 2.5% constante y el porcentaje de caucho de 1%, 1.5%, 2% y 2.5% así mismo con la adición de caucho la mezcla aumenta el flujo, % vacíos llenos de C.A. y disminuye el porcentaje de VMA, estabilidad y polvo asfalto.

**Del segundo objetivo:**

**Estimar la proporción óptima de PET y Caucho Molido para diseñar una mezcla asfáltica ecológica.**

#### **3.1.1.14** Estimación de la proporción óptima

A continuación, se muestra los resultados obtenidos para una mezcla bituminosa con la combinación de PET y caucho.

**Tabla 31.** *Combinación seleccionada*

Porcentaje de (PET: CAUCHO)	%	1%:1%	Requerimientos mezcla clase B	
% Vacíos	%	5.0	3 - 5	Rango
Peso Específico Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.31	-	-
V.M.A.	%	15.0	15	Mínimo
% Vacíos llenos C.A.	%	65.7	-	-
Relación Polvo/ Asfalto	%	0.75	0.6 – 1.3	Rango
Flujo	mm	16.0	8 - 16	Rango
Estabilidad	kN	10.96	5.44 kN	Mínimo
Estabilidad / Flujo	kg/cm	1794	1700-4000	Rango

**Fuente:** Elaboración Propia

En la tabla 30 se seleccionó la muestra con la combinación de PET y caucho que tuvo mejores características con la cual se solo determinar que el porcentaje fue 1% PET y 1% caucho, de la misma manera se comparó con los requerimientos establecidos en la tabla 10. Para mezclas bituminosas como él % de vacíos 5%, VMA 15%, relación polvo asfalto 0.75%, flujo 16 mm, estabilidad con 10.96 kN por encima de lo establecido y relación estabilidad/flujo 1794 kg/cm dentro del rango establecido por lo cual se determina que la mezcla es cumple con todos los requerimientos.



**Del tercer objetivo:**

**Realizar la comparación de MAC convencional y MAC ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido.**

Se realizó la comparación de la combinación de una MAC convencional y una MAC adicionando PET y caucho molido.

**Tabla 32.**

*MAC convencional Vs MAC seleccionada*

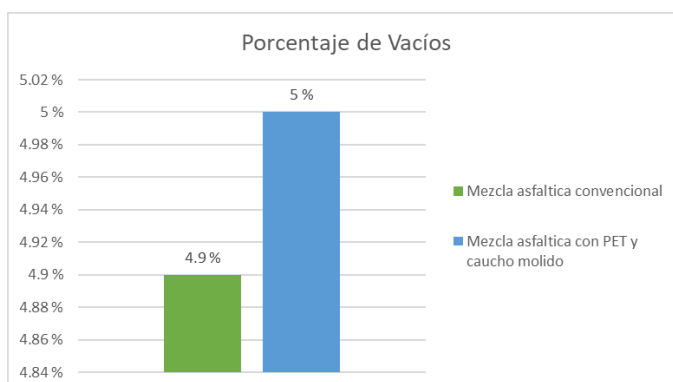
Descripción	MAC patrón	MAC adicionando 1% PET y 1% caucho
Vacíos	4.9 %	5.0 %
VMA	19.0 %	15.0 %
V.LL.C. A.	74 %	65.7 %
polvo / asfalto	0.97 %	0.75 %
Flujo	16 mm	16 mm
Estabilidad	12.3 kN	10.96 kN
Estabilidad / Flujo	1970.8 kg/cm	1794 kg/cm

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 31 se muestra los resultados obtenidos de la muestra patrón elaborada anteriormente con la muestra adicionando 1% PET y 1% caucho que tuvo mejores resultados de todas las combinaciones elaboradas así mismo se puede apreciar que

**Figura 30**

*Comparación Porcentaje de vacíos*

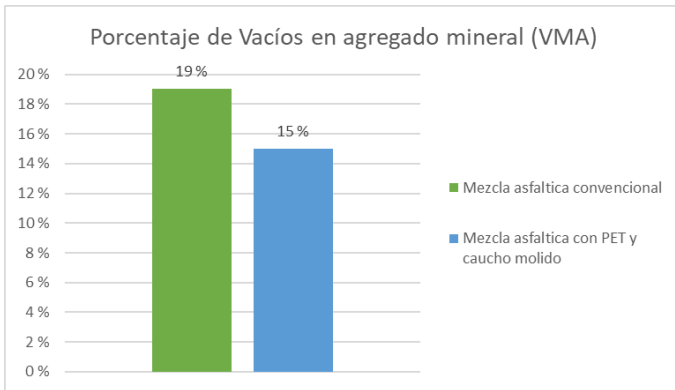


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 31 Se obtuvo el 5% de porcentaje de vacíos para la MAC con PET y caucho con solo una diferencia de 0.1% de la MAC patrón.

**Figura 31**

*Comparación Porcentaje de vacíos en agregado mineral (VMA)*

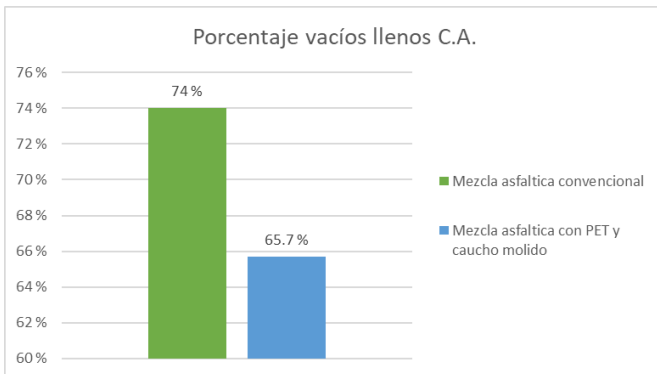


**Fuente:** Elaboración Propia

De la figura 32 Se obtuvo el 15% de porcentaje en agregado mineral (VMA) para la MAC con PET y caucho con una diferencia menos de 4% de la MAC patrón .

**Figura 32**

*Comparación Porcentaje vacíos llenos C.A.*

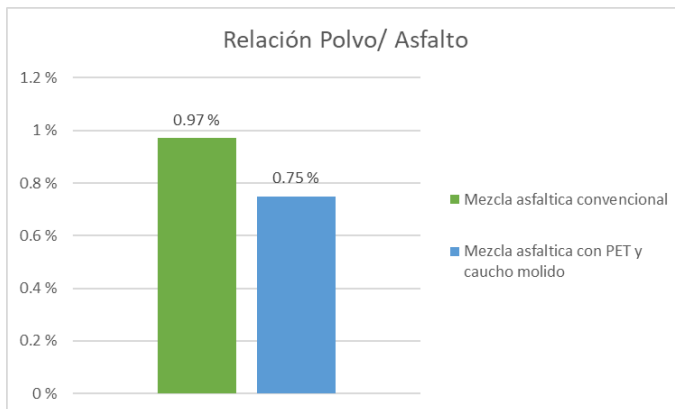


**Fuente:** Elaboración Propia

De la figura 33 Se obtuvo el 65.7% de porcentaje en vacíos llenos de C.A. para la MAC con PET y Caucho con un 8.3% menos que el MAC patrón

**Figura 33**

**Comparación Relación polvo/asfalto**

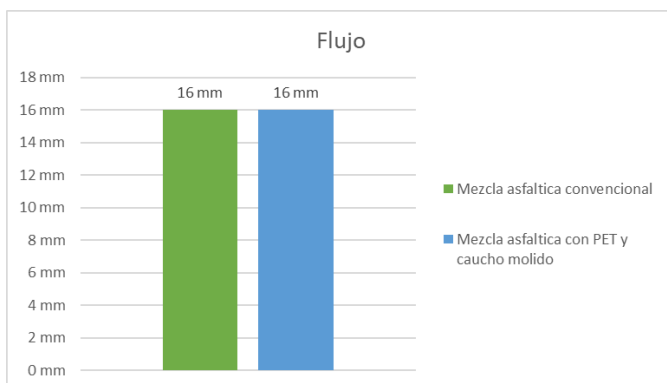


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 34 Se obtuvo el 0.75% de relación polvo/asfalto para la MAC con PET y Caucho con 0.22% menos que la MAC patrón.

**Figura 34**

**Comparación flujo**

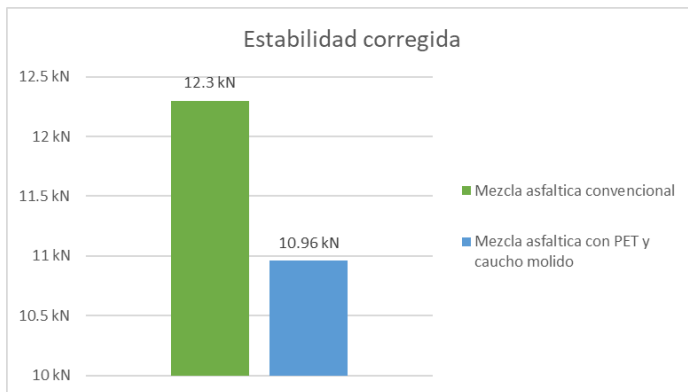


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 35 Se obtuvo el 16 mm de flujo para la MAC con PET y Caucho al igual que para la MAC patrón al no tener diferencia en el flujo.

**Figura 35**

**Comparación estabilidad**

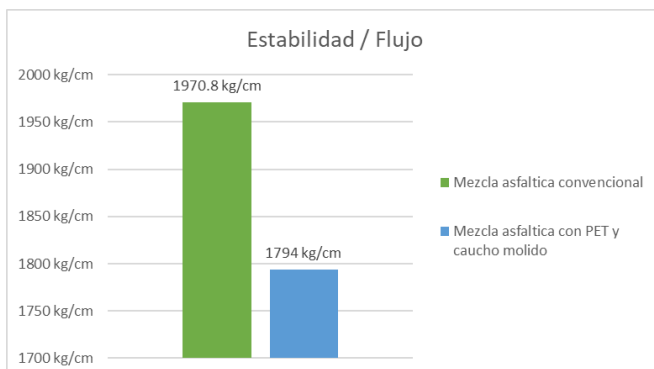


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 36 Se obtuvo el 10.96 kN de flujo para la MAC con PET y Caucho que está por encima de lo aceptado a comparación de una MAC convencional.

**Figura 36**

**Comparación estabilidad/flujo**



Fuente: Elaboración Propia

De la figura 37 se obtuvo el 1794 kg/cm de la relación estabilidad/flujo para la MAC con PET y Caucho que está por encima de lo aceptado y por debajo de la una MAC convencional con una diferencia de 176.8 kg/cm.

### Del cuarto objetivo:

### Analizar costos que implican la fabricación de una mezcla asfáltica ecológica.

#### 3.1.1.15 Costos

Costos para la elaboración de mezcla asfáltica ecológica

**Tabla 33.**

*Costo de elaboración de ensayos, muestra patron y combinacion*

DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	P.U	PARCIAL
<b>MATERIALES</b>				<b>73.50</b>
Formatos para ensayos	und	10	0.50	5.00
Agregado grueso	m <sup>3</sup>	1	0.00	0.00
Agregado fino	m <sup>3</sup>	1	0.00	0.00
Cemento Portland MS tipo I	bol	1	23.50	23.50
Cemento Asfáltico PEN 60/70	bal	1	0.00	0.00
PET	Kg	5	5.00	25.00
Caucho Molido	Kg	5	4.00	20.00
<b>ASISTENCIA TECNICA</b>				<b>1500.00</b>
Técnico de laboratorio	und	1	1500.00	1500.00
<b>TOTAL</b>				<b>1573.50</b>

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 32 Se consideró los costos que implicaron los materiales y la asistencia técnica en la elaboración de los ensayos a nivel de laboratorio para el diseño de la mezcla asfáltica con un total de s/. 1573.50 (mil quinientos setenta y tres con 50/100 soles).

### Figura 37

#### *Presupuesto mezcla asfáltica ecológica*

item	Descripción	und	Metrado	Precio S/	Parcial S/
1	MEZCLA ASFALTICA ECOLOGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO				260.85
1.01	MECLA ASFALTICA ECOLOGICA	m <sup>3</sup>	1	260.85	260.85
	Costo total				260.85
	Son: Doscientos sesenta con 85 /100 soles				

Fuente: Elaboración Propia

De la figura 38 Se elaboró el presupuesto que implica la elaboración de una mezcla asfáltica ecológica adicionando PET y caucho molido en proporciones de 1% a 1% respectivamente por un metro cubico (m<sup>3</sup>).

**Figura 38**

*Análisis de costos unitarios de mezcla asfáltica ecológica*

<b>MEZCLA ASFALTICA ECOLOGICA</b>							
Rendimiento m <sup>3</sup> /DIA		MO 250	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>			<b>260.85</b>	
Código	Descripción Recurso	Unidad ano de Obra M	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
0147010003	OFICIAL		hh	1.0000	0.0320	58.45	1.87
0147010004	PEON		hh	8.0000	0.2560	52.50	13.44
							<b>15.31</b>
	<b>Materiales</b>						
0221000000	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)		BOL		0.5005	23.50	11.76
0298010020	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/ 70		gln		37.1515	5.00	185.76
0298010080	AGREGADO GRUESO		m <sup>3</sup>		0.3504	35.00	12.26
0298010081	AGREGADO FINO		m <sup>3</sup>		0.4528	22.00	9.96
0299010001	CAUCHO MOLIDO		kg		22.6500	0.00	0.00
0299010002	POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET)		kg		22.6500	0.00	0.00
							<b>219.74</b>
0337010001	<b>Equipos</b>		%MO		5.0000	10.99	10.99
0349030025	RODILLO NEUMATICO AUTOP 81-100HP 5.5-20T		hm	1.0000	0.0320	150.17	4.81
0349030043	RODILLO TANDEM ESTATIC AUT 58-70HP 8-10T		hm	1.0000	0.0320	201.87	6.46
0349250003	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGA 69 HP		hm	1.0000	0.0320	110.81	3.55
							<b>25.80</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

De la figura 39 Se obtuvo el análisis de precios unitarios en la elaboración de una mezcla asfáltica ecológica adicionando PET y caucho molido en proporciones de 1% a 1% respectivamente la cual se determinó la mano de obra, materiales y equipos que implica por un metro cubico de mezcla y con un rendimiento de 250 m<sup>3</sup>/DIA, así mismo se determinó un costo unitario de s/. 260.85 (Doscientos sesenta con 85/100 soles).

### 3.2 Discusión de resultados

Posteriormente al desarrollo de resultados se verificó y discutió con los antecedentes citados en la presente investigación, así tenemos que:

- **Respecto a la utilización del método Marshall para obtener resultados de una mezcla asfáltica ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido**, (Bravo Cabrera & Montalvo Malca, 2019) menciona en su investigación uso de la metodología Marshall obtuvo una disminución de la estabilidad, flujo y aumento de porcentaje de vacíos y VLLCA llegando fuera de los límites. Así mismo para (Hinislioglu & Agar, 2004) obtuvieron una estabilidad a 21 kN, flujo 6 mm, Cociente Marshall 5.5 kN/mm como también para (Zoorob & Suparma, 2000) que obtuvieron las siguientes características Densidad 2.01 g/cm<sup>3</sup>, estabilidad Marshall 34.8 kN, flujo 4mm, Cociente Marshall 8.7 kN/mm para esta investigación se obtuvo densidad 2.31 g/cm<sup>3</sup>, estabilidad Marshall 10.96 kN y Cociente Marshall 0.685 kN/mm cumpliendo con lo establecido en la tabla 10, esta investigación concuerda con los investigadores mencionados por la utilización del método Marshall por obtener todas las características mencionadas anteriormente.
- **Sobre la estimación de la proporción óptima del PET y Caucho Molido para diseñar una mezcla asfáltica ecológica para un tráfico de tipo B (mediano)**, para (Canta & Vivas, 2018) que la adición de elastómeros y PET reciclado en 1% respectivamente incrementa los vacíos y baja la impermeabilidad. Con respecto a esta investigación tiene relación, ya que se obtuvo el 1% de PET en combinación con 1% de Caucho y cumplieron con lo establecido por (MTC, 2013)

- **Con respecto a realizar la comparación de una MAC convencional y una MAC ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido.** Para (Carrizales Apaza, 2015), usaron el 3% de caucho no mejoro su comportamiento obteniendo obtuvieron un % de vacíos de aire 2.25% y 9.06% MAC patrón y MAC modificada respectivamente, estabilidad flujo se obtuvo 1965 kg/cm y 1149 kg/cm así mismo para (Bansal et al., 2017) indican un aumento del 53.31% en Estabilidad, 2.63% en flujo, 0.47% en densidad bulk, 26.08% en vacíos de aire y 17.49% en VMA de la muestra modificada vs muestra control. Para esta investigación se obtuvo solo el aumento en 0.22% densidad bulk y 2.04% en vacíos de aire y una disminución de 10.89% estabilidad Marshall, 21.05% menos de VMA, así mismo el flujo no tuvo variación en comparación de la muestra modificada vs muestra control por lo cual esta investigación no coincide con los investigadores mencionados por que existe disminución de algunas propiedades y no aumento.
- **Respecto al análisis de costos que implican la fabricación de una mezcla asfáltica ecológica.** Para (Cervera Borja, 2016), obtuvo a base de un metro cuadrado ( $m^2$ ) por un Km una mezcla asfáltica convencional en un costo unitario de s/. 53.59, y para una mezcla asfáltica modificada un costo unitario de s/. 56.30. como también para (Bravo Cabrera & Montalvo Malca, 2019) obtuvo un costo total a nivel de laboratorio de S/.43,765.38 la investigación expuesta no guarda relación con esta investigación ya que se realizó un costo unitario por metro cubico ( $m^3$ ) de s/. 260.85 y tuvo un costo total a nivel de laboratorio de s/.1573.50 soles



## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Mediante el método Marshall se determinó las características de % vacíos, peso específico bulk, V.M.A., vacíos llenos de C. A., Relación polvo/asfalto, Flujo, Estabilidad/flujo y posteriormente se estableció la combinación óptima que cumplió con establecido en la normativa vigente MTC EG 2013.

La proporción que cumplió con los requerimientos establecidos para mezclas bituminosas MTC (tabla 10), fue 1% de PET y 1% de Caucho molido. Así mismo sus características fueron porcentaje de vacíos 5%, para V.M.A. 15%, Vacíos llenos con C.A. 65.7%, relación polvo/asfalto 0.75%, flujo 16mm, estabilidad 10.96 kN y Estabilidad/flujo 1794 kg/cm.

En la comparación de la MAC modificada se obtuvo una diferencia de la disminución de vacíos de agregado mineral (VMA) de 21.05%, Vacíos llenos de cemento asfáltico (VLLCA) 11.22%, Relación polvo/asfalto 22.68%, estabilidad en 10.89 %, con respecto MAC convencional. Sin embargo, el flujo se mantiene para ambas mezclas.

Se determinó que el costo que implica la fabricación de una mezcla asfáltica ecológica es s/. 260.85 (Doscientos sesenta con 85/100 soles) por metro cúbico ( $m^3$ ); de una combinación del 1% PET y 1% de caucho al peso de la mezcla.

## **4.2 Recomendaciones**

Se recomienda la continuidad de esta investigación usando el método de Marshall e incorporando otros materiales reciclables en combinación con el propósito de tener mayor información.

Se recomienda que para futuras investigaciones de mezclas asfálticas en caliente adicionando PET y caucho, se reduzcan los porcentajes por debajo del 1% para ambos materiales.

Se recomienda que aparte de la comparación entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica ecológica, estas deben cumplir con la normativa vigente para el diseño mezclas de concreto bituminoso según lo dispuesto por el MTC, con la finalidad de obtener información mas precisa para investigaciones posteriores.

Se recomienda que para investigaciones futuras el análisis de costo en la fabricación de una mezcla asfáltica ecológica se determine con las proporciones optimas de nuevos materiales.

## V. REFERENCIAS

- Abo El-Naga, I., & Ragab, M. (2019). Benefits of utilization the recycle polyethylene terephthalate waste plastic materials as a modifier to asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.05.172
- Aghayan, I., & Khafajeh, R. (2019). 12 - Recycling of PET in asphalt concrete. *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete*.
- Ahmad, M. S., & Ahmad, S. A. (2022). The impact of polyethylene terephthalate waste on different bituminous designs. *Journal of Engineering and Applied Science*, 1, 53-69. doi:10.1186/s44147-022-00104-5
- Alfonso, M. F. (2002). *Ingenieria de pavimentos para carreteras*. Colombia.
- Al-Haydari, I. S., & Al-Haidari, H. S. (2020). Mechanical properties of polyethylene terephthalate-modified pavement mixture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 870(1), 12-73. doi:10.1088/1757-899X/870/1/012073
- Almeida E Silva, J., De Figueirêdo Lopes, L. L., Guedes Rodrigues, J. K., Carvalho, M. W., & Beserra Costa, D. (2015). Use of Micronized Polyethylene Terephthalate pet Waste in Asphalt Binder. *Petroleum Science and Technology*, 30(15), 1508-1515. doi:10.1080/10916466.2015.1079538
- Almeida Silva, J. d., Guedes Rodrigues, J. K., de Carvalho, M. W., de Figueirêdo Lopes Lucena, L. C., & Cavalcante, E. H. (2018). Avaliação reológica de ligante modificado. *Revista Matéria*. doi:10.1590/s1517-707620170001.0287
- Ameli, A., Maher, J., Mosavi, A., Nabipour, N., Babagoli, R., & Norouzi, N. (2020). Performance evaluation of binders and Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures modified by Ground Tire Rubber (GTR), waste Polyethylene Terephthalate (PET) and Anti Stripping Agents (ASAs). *Construction and Building Materials*. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118932
- Angulos Rodriguez, R. A., & Durante Ayala, J. L. (2019). *Modificacion de un asfalta con caucho reciclado de llanta para su aplicacion en pavimentos*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga.
- ASFALTO, I. C. (1992). *Principios de Construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Santiago de Chile: Asphalt Institute.
- Asfalto, I. d. (1992). *Principios de la construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Estados Unidos: Administracion Federal de Autopistas.

- Avellan Cruz, M. (2007). *Asfaltos Modificados con polimeros*. Guatelama: Universidad de San carlos.
- Badejo, A. A., Adekunle, A. A., Adekoya, O. O., & Ndambuki, J. M. (2017). Plastic waste as strength modifiers in asphalt for a sustainable environment. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*. doi:10.1080/20421338.2017.1302681
- Baghaee Moghaddam, T., Soltani, M., & Rehan Karim, M. (2015). *Materials & design*. doi:10.1016/j.matdes.2014.11.044
- Baghaee Moghaddam, T., Soltani, M., Rehan Karim, M., & Baaj, H. (2015). Optimization of asphalt and modifier contents for polyethylene terephthalate modified asphalt mixtures using response surface methodology. *Measurement*. doi:10.1016/j.measurement.2015.07.012
- Bansal, S., Kumar Misra, A., & Bajpai, P. (2017). Evaluation of modified bituminous concrete mix developed using rubber and plastic waste materials. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 442-448. doi:10.1016/j.ijlsbe.2017.07.009
- Bolaños Zea, J. G. (2019). *Reciclado de Plástico PET*. Universidad Catolica San Pablo, Arequipa.
- Bravo Cabrera, B. N., & Montalvo Malca, J. L. (2019). DESARROLLO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE CAUCHO: CARACTERIZACIÓN DEL NUEVO MATERIAL. *INGENIERIO CIVIL*. UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN, CHICLAYO.
- Cabezas Dulanto, V., & Mendoza Aguirre, C. F. (2018). Alternativa de diseño de mezcla asfáltica en caliente con polvo de caucho de NFU para la ciudad de Lima. *Título Profesional*. Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Canta, H. F., & Vivas, J. K. (2018). Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas. *Tesis*. Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Capcha Espinoza, K. J. (2018). Diseño de mezcla asfáltica con incorporación del caucho reciclado. Tacna.
- Carrizales Apaza, J. J. (2015). ASFALTO MODIFICADO CON MATERIAL RECICLADO DE LLANTAS PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES. *Ingeniero Civil*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

- Castilla, N. (2007). *Invernaderos de plástico tecnología y manejo* . Madrid: Mundi Prensa.
- Cerda Neira, E. A., & Pintado Silupú, Y. D. (2018). USO DEL CAUCHO EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, EN AVENIDA LOS ALGARROBOS, TRAMO AVENIDA LAS AMAPOLAS – AVENIDA GUSTAVO MOHME, VEINTISÉIS DE OCTUBRE. *INGENIERO CIVIL*. UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, PIURA.
- Cervera Borja, C. A. (2016). INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA INCORPORANDO CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS. *Ingeniero Civil*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Chávez Quiñones, J. M., & Herna Apolo, E. B. (2014). ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS CON PARTICULAS DE CAUCHO RECICLADO EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE. Lambayeque.
- Chilcon Carrera, J., & Ramírez Gálvez, K. R. (2017). ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO ALMACENABLE PARA LA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS. LAMBAYEQUE.
- De Arimateia Almeida E Silva, J., De Figueirêdo Lopes, L. L., Guedes Rodrigues, J. K., Carvalho, M. W., & Beserra Costa, D. (2015). Use of Micronized Polyethylene Terephthalate (Pet) Waste in Asphalt Binder. *Petroleum Science and Technology*, 30(15), 1508-1515. doi:10.1080/10916466.2015.1079538
- ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO ALMACENABLE PARA LA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2017. (2017). Lambayeque.
- Elias Chero, Z. M. (2017). ANALISIS DE LA INCORPORACIÓN DEL PET Y PEAD EN LA FLEXIBILIDAD Y RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN EN UN PAVIMENTO ECOLÓGICO. NUEVO CHIMBOTE.
- Gonzalez, S. M., & Huaman, A. O. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Lima: ICG - Instituto de construcción y gerencia.
- Goutham, S. (2019). 14 - Replacement of stabilizers by recycling plastic in asphalt concrete. *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete*.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales*,

- procesos y sistemas. Person.*
- Gürü, M., Kürşat C, ubuk, M., Arslan, D., Ali Farzarian, S., & Bilici, I. (2014). Un enfoque para el uso de desechos de tereftalato de polietileno (PET) como material de pavimento de carreteras. *Journal of Hazardous Materials*.
- Gutierrez de Lopez, L. (2003). El concreto y otros materiales para la consturccion. *universidad nacional de colombia*.
- Hayat, U., Rahim, A., Khan, A. H., & Ur Rehman, Z. (2020). Use of plastic wastes and reclaimed asphalt for sustainable development. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 15(2), 182-196. doi:10.7250/bjrbe.2020-15.479
- Hinislioglu, S., & Agar, E. (2004). Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix. *Materials Letters*, 58(3-4), 267-271. doi:10.1016/S0167-577X(03)00458-0
- Huarcaya, F. A., & Jines, K. S. (2018). Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas. *Ingenierio Civil*. Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Hugo, R. Q., & Reyes Lizcano, F. (2015). *Pavimentos materiales, construccion y diseño*. Colombia: Macri EIRL.
- Jamshidi, A., Othman Hamzah, M., Kurumisawa, K., Nawa, T., & Samali, B. (2019). Evaluación de tecnologías sustentables que mejoran el grado de desempeño del ligante en la construcción de pavimentos asfálticos. *Materials & Design*.
- Jiménez, A. M. (2013). *Preparacion del sistema de entintado, humectador y de los dispositivos de salida y acabado en maquinas de impresion offset*. Malaga: IC editorial.
- Joel, P. L. (2015). *Honesty in scientific research* (Vol. 32). Acta Médica Peruana. doi:1728-5917
- Kabir, T., Oyeyi, A. G., Al-Bayati, H., Pickel, D., & Tighe, S. (2023). Porous Rubber Pavement—In Situ Performance Evaluation of Stiffness and Friction in Canada. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 248, 95-105. doi:10.1007/978-981-19-1004-3\_7
- Kraemer, C., M. Pardillo, J., Rocci, S., G. Romana, M., Sánchez Blanco, V., & Angel del Val, M. (2004). *Ingenieria de Carreteras*. España: Puntographic, S.L.
- Laura, M. P., & Ruiz, M. R. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Ingenieria industrial*, 27, 123-137.

doi:10.26439/ing.ind2009.n027.627

- Leng, Z., Kumar Padhan, R., & Sreeram, A. (2018). Producción de un material de pavimentación sostenible mediante el reciclaje químico de residuos de PET en asfalto modificado con caucho granulado. *Journal of Cleaner Production*.
- Leng, Z., Kumar Padhan, R., & Sreeram, A. (2018). Producción de un material de pavimentación sostenible mediante el reciclaje químico de residuos de PET en asfalto modificado con caucho granulado. *Journal of Cleaner Production*.
- Leng, Z., Sreeram, A., Kumar Padhan, R., & Tan, Z. (2018). Value-added application of waste PET based additives in bituminous mixtures containing high percentage of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2018.06.119
- Luna, A. M., & Shaikh, F. U. (2020). Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate (PET) fibre as concrete reinforcement. *Construction and Building Materials*, 265, 120-331. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120331
- M. Khan, I., Kabir, S., A. Alhussain, M., & F. Almansoor, F. (2016). Asphalt Design Using Recycled Plastic and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction. *Procedia Engineering*. doi:10.1016/j.proeng.2016.04.196
- Machsus, M., Basuki, R., Firdaus Mawardi, A., Khoiri, M., Sukobar, & Firli Firdausi, M. (2019). Utilization of Plastic Bottles Waste in Asphalt Concrete Mixture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1755-1315/436/1/012005
- Maharaj, R., Maharaj, C., & Mahase, M. (2019). El rendimiento y la durabilidad del tereftalato de polietileno y las superficies de pavimento de carreteras modificadas con caucho granulado. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*.
- Manual de carreteras - especificaciones técnicas generales para construcción (EG)*. (2013).
- Manual de prácticas de laboratorio de pavimentos*. (2017). Venezuela: Universidad de los Andes Mérida.
- Marulanda, J. (2018). *Materiales de la construcción*. Argentina: El Cid Editor.
- Menedez Acurio, J. R. (2009). *Ingeniería de pavimentos materiales, diseño y conservación*. Lima: ICG.

- Merluza Dr, S., Damgir Dr., R., & Awsarmal, P. (2020). Utilization of Plastic waste in Bitumen Mixes for Flexible Pavement. *Transportation Research Procedia*.
- Miguel A, S. (1983). *Tratado de construccion*. Mexico: Continental.
- Modarres, A., & Hamedi, H. (2014). Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes. *Materials & Design*. doi:10.1016/j.matdes.2014.04.046
- Movilla-Quesada, D., Raposeiras, A., & Olavarría, J. (2019). Effects of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt Mixtures. *Advances in Civil Engineering*. doi:10.1155/2019/6969826
- MTC. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS - (EG)*. Lima.
- Navarro Jiménez, J. M. (2017). PROPUESTA DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIONES DE PET. *Ingeniero Civil*. Universidad Señor de Sipan, Pimentel.
- Ñaupas Paitán, H. V. (2018). *Metodología de la Investigación Cuantitativa Cualitativa y Redacción de la Tesis* (5ta ed.). Bogota: Ediciones de la U.
- Pradeep Kumar, G., Pawan, K., Ajay Singh, J., Rahul, A., & Harshwardhan, S. (2018). Uso sostenible de residuos en pavimento flexible : una revisión. *Construction and Building Materials*.
- Quesada, M., Raposeiras, A., & Olavarria, J. (2019). Efectos del tereftalato de polietileno reciclado (PET) sobre la rigidez del calor Asfalto Mezclas. *Advances in Civil Engineering*.
- Quintana, H. A. (2015). *Pavimentos: materiales, construccion y diseño*. Lima: Macro.
- Ramírez Alvarado, P., & Tananta Salas, W. (2019). Diseño de carpeta asfáltica aplicando gránulos de plástico reciclado para mejorar la transitabilidad del Jr. San Martín, distrito de Tabalosos-2018. Tarapoto.
- Ren, S., Liu, X., Wang, H., Fan, W., & Erkens, S. (2020). Evaluación de comportamientos reológicos y propiedades anti-envejecimiento de asfaltos reciclados utilizando polímeros y asfaltos de baja viscosidad. *Journal of Cleaner Production*.
- Rodríguez Alloza, A. M. (2018). *Residuos Profesional*. Retrieved from <https://www.residuosprofesional.com/asfalto-ecologico-neumaticos-usados/>



- Rodríguez Elera, E. R. (2020). Diseño de mezcla asfáltica con plástico reciclado para innovar el proyecto ciclovial prolongación av. Bolognesi hasta carretera Pimentel. *Ingeniero Civil*. Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo.
- Rojas, W. S., & Calvo, V. C. (2017). *CONSISTENCIA DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA SEGÚN LA METODOLOGÍA MARSHALL*. Lanamme: Universidad de Costa Rica.
- Rondon Quintana, H. (2015). *Pavimentos materiales, construcción y diseño*. Bogota: Xpress.
- Saeed Al-Haydari, I., & Saeed Al-Haidari, H. (2020). Mechanical properties of polyethylene terephthalate-modified pavement mixture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/870/1/012073
- Salazar Pucllas, S. (2019). Incorporación de Caucho Reciclado en las Mezclas Asfálticas para Mejorar Pavimentos Flexibles en la Ciudad de Lima, Perú 2019. Lima.
- Sarang, G. (2019). 14: Sustitución de estabilizadores por reciclaje de plástico en hormigón asfáltico. *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete*.
- Saucedo, R. J., Zamora, J. J., & Pérez, S. P. (2021). Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. *Avances: Investigación en Ingeniería*.
- Silva Mantilla, J. (2018). INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EN LA CIUDAD DE CHICLAYO 2018. Chiclayo.
- Solatiyan, E., Bueche, N., & Carter, A. (2020). Una revisión sobre el comportamiento mecánico y las consideraciones de diseño para pavimentos bituminosos reforzados-rehabilitados. *Construction and Building Materials*.
- (2019 ). *Soluciones para una pavimentación ecológica y materiales sostenibles*. Francia: Asociación Mundial de la Carretera (PIARC).
- SOPTRAVI. (1996). *Manual de Carreteras - Diseño de pavimentos y mantenimiento de caminos*. Honduras: SOPTRAVI.
- Syammaun, T., Meillyta, & Yati, R. (2020). Effect of coconut-shell ash as filler and plastic bottle as substitution of porous asphalt mixture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-

899X/821/1/012015

*Tecnología de los Plásticos*. (2014). Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/>

*The Asphalt Institute*. (1997).

Ubidia Pinedo, L. (2019). Diseño de pavimento flexible con la utilización de polvo de caucho reciclado para minimizar la generación de fisuras del Jr. Jorge Chávez cdra. 01-09 Ciudad de Tarapoto San Martín. Tarapoto.

Wan Mohd, N., Wan Abdul, R., Achmad, F., & Wahab, A. (2013). Pavimento verde que utiliza tereftalato de polietileno reciclado (PET) como reemplazo parcial de agregado fino en asfalto modificado. *Procedia Engineering*.

Yepes, W. U. (2014). Efecto del sistema de vulcanización en la cinética de. *Grupo de investigación en materiales de ingeniería*.

Zeynel Baran, Y., & Murat, K. (2019). Modelling of waste rubber and glass fiber with response surface method in hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*.

Zhao, Z., Xiao, F., & Amir Khanian, S. (2020). Recent applications of waste solid materials in pavement engineering. *Waste Management*. doi:10.1016/j.wasman.2020.04.024

Zoorob, S. E., & Suparna, L. B. (2000). Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt). *Cement and Concrete Composites*, 22(4), 233-242. doi:10.1016/S0958-9465(00)00026-3

## VI. ANEXOS

### 6.1 Anexo 01 – Resolución del proyecto de investigación



UNIVERSIDAD  
SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

RESOLUCIÓN N°2423-2020/FIAU-USS

Pimentel, 31 de diciembre de 2020

#### VISTO:

El Acta de reunión N° 033-CIIC-2020 del Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL remitida mediante Oficio N° 0383-2020/FIAU-IC-USS de fecha 8 de diciembre de 2020, y;

#### CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con la Ley Universitaria N° 30220 en su artículo 48° que a letra dice: "La investigación constituye una función esencial y obligatoria de la universidad, que la fomenta y realiza, respondiendo a través de la producción de conocimiento y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad, con especial énfasis en la realidad nacional. Los docentes, estudiantes y graduados participan en la actividad investigadora en su propia institución o en redes de investigación nacional o internacional, creadas por las instituciones universitarias públicas o privadas.";

Que, de conformidad con el Reglamento de grados y títulos en su artículo 21° señala: "Los temas de trabajo de investigación, trabajo académico y tesis son aprobados por el Comité de Investigación y derivados a la Facultad o Escuela de Posgrado, según corresponda, para la emisión de la resolución respectiva. El periodo de vigencia de los mismos será de dos años, a partir de su aprobación. En caso un tema perdiera vigencia, el Comité de Investigación evaluará la ampliación de la misma.

Que, de conformidad con el Reglamento de grados y títulos en su artículo 24° señala: La tesis es un estudio que debe denotar rigurosidad metodológica, originalidad, relevancia social, utilidad teórica y/o práctica en el ámbito de la escuela profesional. Para el grado de doctor se requiere una tesis de máxima rigurosidad académica y de carácter original. Es individual para la obtención de un grado; es individual o en pares para obtener un título profesional. Asimismo, en su artículo 25° señala: "El tema debe responder a alguna de las líneas de investigación institucionales de la USS S.A.C.".

Que, según documentos de Vistos el Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL acuerda aprobar los temas de las Tesis a cargo de los estudiantes que se detallan en el anexo de la presente Resolución.

Estando a lo expuesto, y en uso de las atribuciones conferidas y de conformidad con las normas y reglamentos vigentes;

#### SE RESUELVE:

**ARTÍCULO 1°: APROBAR**, el tema de la Tesis perteneciente a la línea de investigación de INFRAESTRUCTURA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE, a cargo de los estudiantes del Programa de estudios de INGENIERÍA CIVIL según se detalla en el anexo de la presente Resolución.

**ARTÍCULO 2°: ESTABLECER**, que la inscripción del Tema de la Tesis se realice a partir de emitida la presente resolución y tendrá una vigencia de dos (02) años.

**ARTÍCULO 3°: DEJAR SIN EFECTO**, toda Resolución emitida por la Facultad que se oponga a la presente Resolución.

**REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE**



 Dr. Raúl Fernando Barrios Muro  
Decano - Facultad de Ingeniería,  
Arquitectura y Urbanismo  
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.



 MSc. María Noelia Salas Almona  
Secretaría Académica / Facultad de Ingeniería,  
Arquitectura y Urbanismo  
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.

Cc: Interesado, Archivo





**Solicitante**  
**Proyecto**

**Lugar**  
**Fecha de ensayo**

2021

**Ensayo** AGREGADO. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.  
**Referencia** N.T.P. 400.021

Muestra:

Cantera :

**I. DATOS**

1.- Masa de la muestra secada al horno	(gr)		
2.- Masa de la muestra saturada superficialmente seca	(gr)		
3.- Masa de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	(gr)		
4.- Masa de la canastilla	(gr)		
5.- Masa de la muestra saturada dentro del agua	(gr)		

**II .- RESULTADOS**

1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm <sup>3</sup> )		
2.- PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(gr/cm <sup>3</sup> )		
3.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(gr/cm <sup>3</sup> )		
4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%		

Observaciones :

**Figura 40** Formato ensayo densidad relativa



**Solicitante:**  
**Proyecto:**

**Lugar:** Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.

**METODO DE ENSAYO** : ENSAYO DE ABRASION ( MAQUINA DE LOS ANGELES )

**REFERENCIA NORMATIVA** : NTP 400.019

**FECHA DE ENSAYO :**

**TIPO DE PRODUCTO** :

**RESP. LAB. :**

**CÓDIGO ÚNICO** :

**TEC. LAB. :**

**MATERIAL** :

**CANTERA** :

DATOS DEL ENSAYO					
Tamiz		A	B	C	D
Pasa	Retiene				
2"	1 1/2"				
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"				
1/2"	3/8"				
3/8"	1/4"				
1/4"	N°4				
N°4	N°8				
Peso total (g)					
Peso retenido tamiz N°12 (g)					
Perdida después del ensayo (g)					
N° de esferas					
Peso de las esferas (g)					
Tiempo de rotación (m)					
Porcentaje de desgaste (%)					

Observaciones :

**Figura 41** Formato ensayo abrasión



**Solicitante:**

**Proyecto:**

**Lugar:** Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.

Solicitante :

Obras :

Ubicación :

Fecha de ensayo : 2021

**Ensayo** SUELOS. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.

**Referencia** NTP 339.146:2000 (revisada el 2014)

**Muestra**

Muestra Nº	1	2	3
Hora de entrada			
Hora de salida			
Hora de entrada			
Hora de salida			
Altura máxima de finos (pulg)			
Altura máxima de arena (pulg)			
Equivalente de arena			
<b>PROMEDIO</b>	%		

Observaciones :

**Figura 42** Formato ensayo equivalente de arena



**Solicitante:**

**Proyecto:**

**Lugar:** Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.

**Ensayo** ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO

**Referencia** MTC E 222

Muestra : Agregado Fino

Cantera: Planta de Asfalto - Batangrande

ENSAYO ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO				
N°	ENSAYO	M-1	M-2	PROMEDIO
1	Peso material + Molde (grs)			
2	Peso del Molde (grs)			
3	Peso Neto del Material (grs)			
4	Volumen del molde (cc)			
5	Peso unitario (gr/cc)			

N°	ENSAYO	M-3	M-4	PROMEDIO
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire)			
B	Peso Frasco + agua			
C	Peso Frasco + agua + A			
D	Peso del Mat. + agua en el frasco			
E	Vol de masa + Vol de vacio = C-D			
F	Pe. De Mat. Seco en estufa (105° C)			
G	Vol de masa = E- (A-F)			
	Pe bulk (base seca) = F/E			
	Pe bulk (base saturada)= A/E			
	Pe aparente ( base seca)= F/G			
	Absorción = ((A-F)/F)*100			

N°	ENSAYO	1	2	PROMEDIO
1	Peso específico seco (Gsb)			
2	Volumen de molde (V)			
3	Peso de material en el molde (w)			
4	Angularidad de agregado fino %			

**Figura 43** Formato ensayo angularidad agregado fino





**Solicitante:**

**Proyecto:**

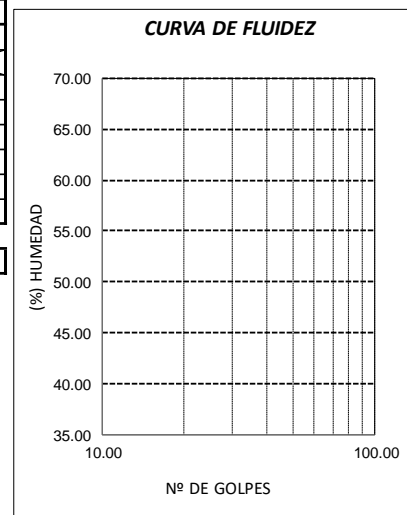
**Lugar:** Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.

**ENSAYO:** SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

**NORMA DE REFERENCIA:** N.T.P. 399.131

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
N° de tarro					
N° de golpes					
Tarro + suelo húmedo					
Tarro + suelo seco					
Agua					
Peso del tarro					
Peso del suelo seco					
Porcentaje de humedad					

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA		Colocar "X", a suelo no Plast	0
Límite Líquido	0.00		
Límite Plástico	0.00		
Índice de Plasticidad	0.00		



Observaciones :

**Figura 44** Formato ensayo límites de atterberg



**Solicitante:**

**Proyecto:**

**Lugar:** Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.

**ENSAYO** SUELO. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelo y agua subterránea.

**REFERENCIA** NORMA N.T.P. 399.152 : 2002

	Muestra usada	g.				
	Agua destilada usada:	ml				
	Calicata					
	Muestra					
	Profundidad					
01	Relación de la mezcla suelo - agua destilada					
02	Número de beaker					
03	Peso de beaker	g.				
04	Peso de beaker + residuo de sales	g.				
05	Peso de residuo de sales	(4)-(3) g.				
06	Volumen de la solución tomada	ml				
07	Constituyentes de sales solubles totales $[(5) \times (1000000)] / (6) \times (1)$		ppm			
08	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco $(7) / 10000$		(%)			
	PROMEDIO (ppm) =					
	PROMEDIO (%) =					

Observaciones :

**Figura 45** Formato ensayo contenido de sales



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN  
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Chiclayo

**Solicitante:**  
**Proyecto:**

**Lugar:** Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.

ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)				
MUESTRA Nº	1	2	3	4
1.- PESO DEL FRASCO				
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO (25°C)				
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )				
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA (25°C)				
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA				
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )				
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )				
<b>CONTENIDO % C.A.</b>				

Observaciones :

**Figura 46** Formato ensayo gravedad especifica



**Solicitante:**

**Proyecto:**

**Lugar:** Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.

AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM														
					% pasa Material			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200			
%					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
BRIQUETA N°					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	% C.A. en masa de la Mezcla																		
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla																		
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla																		
4	% Cemento portland en masa de la Mezcla																		
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc																		
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc																		
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc																		
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc																		
9	Masa de la briqueta al aire (gr)																		
10	Masa de la briqueta al agua por 60' (gr)																		
11	Masa de la briqueta desplazada (gr)																		
12	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)																		
13	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)																		
14	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)																		
15	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)																		
16	Peso Especifico Bulk Agregado Total (Gsb)																		
17	Peso Especifico Efectivo Agregado total (Gse)																		
18	Asfalto Absorbido por el Agregado																		
19	% de Asfalto Efectivo																		
20	Relación Polvo/Asfalto																		
21	V.M.A.																		
22	% Vacios llenos con C.A.																		
23	Flujo 0,01"(0,25 mm)																		
24	Estabilidad sin corregir (Kg)																		
25	Factor de estabilidad																		
26	Estabilidad Corregida 27 * 28																		
27	Estabilidad / Flujo																		

Observaciones :

**Figura 47** Formato ensayo Marshall

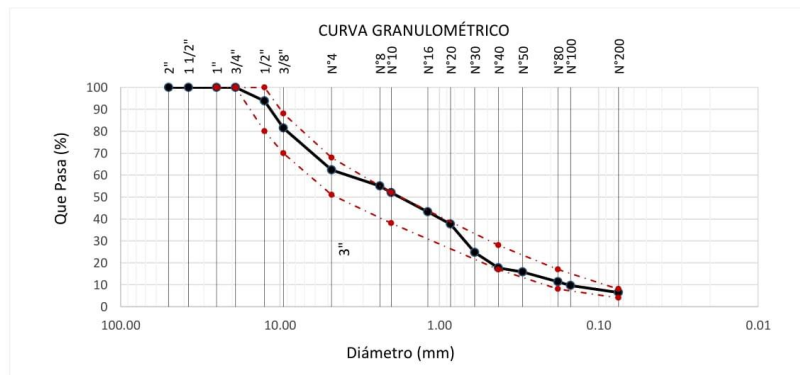
## 6.3 Anexo 03 – Resultados de laboratorio



Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Pimentel – Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: lemswyceirl@gmail.com

Solicitante : TEJADA BRIOSO, NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : Tesis "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de apertura : Setiembre del 2021.  
 ENSAYO : AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino. Grueso y global.  
 NORMA : N.T.P. 400.012  
 Muestra : Combinado A. Grueso 43% + A. Fino 56%+ Filler 1%

Malla	Pulg.	(mm.)	43	56	1	100	GRADACIÓN MAC - 2
			% Que Pasa				
			A. Grueso	A. Fino	Filler	Combinado	
2"		50.000	100.0	100.0	100.0	100.0	
1 1/2"		37.500	100.0	100.0	100.0	100.0	
1"		25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	
3/4"		19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100
1/2"		12.500	85.5	100.0	100.0	93.8	80 - 100
3/8"		9.500	56.8	100.0	100.0	81.4	70 - 88
Nº 4		4.750	12.4	100.0	100.0	62.3	51 - 68
Nº 8		2.360	0.8	95.8	100.0	55.0	
Nº 10		2.000	0.7	90.5	100.0	52.0	38 - 52
Nº 16		1.180	0.7	74.9	100.0	43.2	
Nº 20		0.850	0.7	64.9	100.0	37.6	
Nº 30		0.600	0.7	41.9	100.0	24.8	
Nº 40		0.425	0.7	29.4	100.0	17.7	17 - 28
Nº 50		0.300	0.7	25.9	100.0	15.8	
Nº 80		0.180	0.6	17.9	100.0	11.3	8 - 17
Nº 100		0.150	0.6	14.9	100.0	9.6	
Nº 200		0.075	0.5	9.3	100.0	6.4	4 - 8



Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.





**LEMS W&C EIRL**

RNP Servicios S0608589

Prolongación Bolognesi Km. 3.5

Pimentel – Lambayeque

R.U.C. 20480781334

Email: servicios@lemswyceirl.com

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN

Proyecto / Obra : TESIS "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO".

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.

Fecha de ensayo : septiembre del 2021

ENSAYO : AGREGADOS. Partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.

REFERENCIA : N.T.P. 400.040

Muestra : Agregado Grueso

Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande

A. Partículas con una cara fracturadas						
Tamaño del agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	% Retenido	C*D
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	680	630	92.65	0.99	91.7
1/2"	3/8"	1230	920	74.80	0.64	48.2

UNA CARA FRACTURADA (%)	=	TOTAL E	=	139.9	=	85.6 %
		TOTAL D		1.6		

B. Partículas con una Aa más cara fracturadas						
Tamaño del agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	% Retenido	C*D
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	592.8	494.2	83.37	0.99	82.5
1/2"	3/8"	1025.4	835.9	81.52	0.64	52.5

DOS A MÁS CARA FRACTURADA (%)	=	TOTAL E	=	135.0	=	82.6 %
		TOTAL D		1.6		

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,

  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
  
**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904

**INFORME**

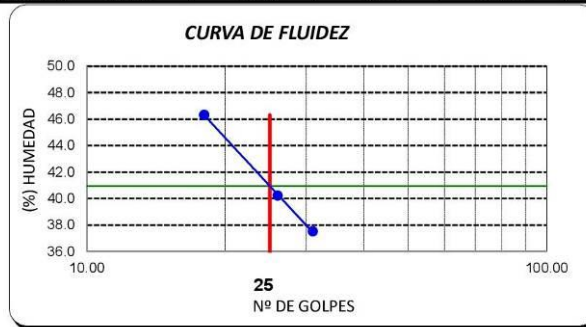
**Solicitante** : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
**Tesis** : Tesis "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO".  
**Ubicación** : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
**Fecha de ensayo** : Diciembre del 2021.  
**ENSAYO** : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo.  
**REFERENCIA** : N.T.P. 399.131

Identificación:

Muestra : Agregado Fino

Canreta : Planta de Asfalto - Batangrande

Ensayo	Límite Líquido			Límite Plástico	
	L1	L2	L3	P1	P2
N° Tara					
N° Golpe	31	26	18	-	-
% Humedad	37.50	40.21	46.31	33.33	44.30



Límite Líquido	40.9%
Límite Plástico	38.8%
Índice de Plasticidad	2.1%

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificadas y ensayorealizado por el solicitante.
- La muestra fue tamizada por la malla N°200



**LEMS W&C EIRL**  
WILSON OLAYA AGUILAR  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS




Miguel Angel Ruiz Perales  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904

### **INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
Proyecto / Obra : TESIS "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO".  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
Fecha de ensayo : septiembre del 2021

**ENSAYO** : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles

**REFERENCIA** : NORMA N.T.P. 400.019

**Muestra** : Agregado Grueso

**Cantera** : Planta de Asfalto - Batangrande

<b>% de desgaste por abrasión</b>	<b>%</b>	<b>14.40</b>
-----------------------------------	----------	--------------

### **OBSERVACIONES :**

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", N° de esferas : 11, Revoluciones : total 500

  
 **LEMS W&C** EIRL  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
 **Miguel Angel Ruiz Perales**  
**INGENIERO CIVIL**  
**CIP. 246904**



Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto / Obra : TESIS "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO".  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de ensayo : septiembre del 2021

ENSAYO : AGREGADOS. Partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.  
 REFERENCIA : N.T.P. 400.040

**Muestra** : Agregado Grueso

Canreta : Planta de Asfalto - Batangrande

TAMIZ (Pulg.)	ABERTURA (mm)	PESO DE PARTICULAS CHATAS	PESO DE PARTICULAS ALARGADAS	PESO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)	(%) CORREGIDO
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000					
1/2"	12.700	59.5	11.4	0.0	5.85	2.57
3/8"	9.500	101.3	39.7	0.0	9.14	5.12
Nº 4	4.750					

<b>PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)</b>	<b>7.7</b>
--	------------

**OBSERVACIONES :**

- Relación usada: 1/3 (Espesor /Longitud).
- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,



**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS




**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904

**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
Proyecto : TESIS DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO  
POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO  
MOI INO"  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
Fecha de ensayo : Septiembre del 2021

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.

REFERENCIA : NTP 339.146:2000 (revisada el 2014)

Identificación:

Muestra : Arena Gruesa (Agregado Fino)      Cantera: Planta de Asfalto - Batangrande.

<b>EQUIVALENTE DE ARENA (%)</b>	<b>60</b>
---------------------------------	-----------

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.
- La muestra fue tamizada por la malla N°4



**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904



RNP - Servicios S0608589

**LEMS W&C EIRL**

Prolongación Bolognesi Km. 3.5

Chiclayo – Lambayeque

R.U.C. 20480781334

Email: lemswyceirl@gmail.com

Solicitante : TEJADA BRIOSO, NICOLAI ALVIN  
Proyecto / Obra : Tesis "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
Fecha de ensayo : Septiembre del 2021

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelo y agua subterránea.

REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.152 : 2002

<i>Muestra</i>	: Agregado Fino	
<i>Cantera</i>	: Planta de Asfalto - Batangrande	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	3000
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.30

<i>Muestra</i>	: Agregado Grueso	
<i>Cantera</i>	: Planta de Asfalto - Batangrande	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	3400
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.34

Observaciones:

- Identificación, muestreo y ensayo realizado por el solicitante.

  
**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON CLAYA AGUILAR**  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
  
**Miguel Angel Ruiz Perales**  
**INGENIERO CIVIL**  
**CIP. 246904**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN

Proyecto / Obra : TESIS "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO".

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.

Fecha de ensayo : septiembre del 2021

ENSAYO : AGREGADOS. Partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.

REFERENCIA : N.T.P. 400.040

**Muestra** : Agregado Grueso

Canreta : Planta de Asfalto - Batangrande

TAMIZ (Pulg.)	ABERTURA (mm)	PESO DE PARTICULAS CHATAS	PESO DE PARTICULAS ALARGADAS	PESO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)	(%) CORREGIDO
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000					
1/2"	12.700	59.5	11.4	0.0	5.85	2.57
3/8"	9.500	101.3	39.7	0.0	9.14	5.12
N° 4	4.750					

<b>PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)</b>
--

<b>7.7</b>
------------

**OBSERVACIONES :**

- Relación usada: 1/3 (Espesor /Longitud).
- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,




**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS




**Miguel Angel Ruiz Perales**  
**INGENIERO CIVIL**  
 CIP. 246904

**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
Proyecto / Obras : TESIS "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO".  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
Fecha de ensayo : septiembre del 2021

ENSAYO : ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO  
REFERENCIA : MTC E 222

Identificación:

Muestra : Agregado Fino

Cantera: Planta de Asfalto - Batangrande

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO %	<b>40.5</b>
---------------------------------	-------------

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificadas y ensayo realizado por el solicitante.

  
**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
  
**Miguel Angel Ruiz Perales**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904

INFORME

Solicitante : TEJADA BRIOSO, NICOLAI ALVIN  
Proyecto : Tesis "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
Fecha de recepción : SETIEMBRE 2021

NORMA : AGREGADO. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

REFERENCIA : N.T.P. 400.022

Muestra : Arena Gruesa (Agregado Fino)

Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande

1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.630
2.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	0,472

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
  
**Miguel Angel Ruiz Perales**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904

INFORME

Solicitante : TEJADA BRIOSO, NICOLAI ALVIN  
Proyecto : Tesis "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
Fecha de recepción : SETIEMBRE 2021

NORMA : AGREGADO. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

REFERENCIA : N.T.P. 400.021

Muestra: Agregado Grueso

Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande

1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.614
2.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	0.94

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
**LEMS W&C EIRL**  
WILSON OLAYA AGUILAR  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
 Miguel Angel Ruiz Perales  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904

Solicitante : TEJADA BRIOSE NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de apertura : Diciembre del 2021

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)																
AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
					% pasa Material			100	100	93.8	81.4	62.3	52	17.7	11.3	6.4
%	43	56	1	100	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
BRIQUETA N°																
1	% C.A. en masa de la Mezcla				5.50			6			6.5			7		
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla				40.64			40.42			40.21			39.99		
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla				52.92			52.64			52.36			52.08		
4	% Cemento portland en masa de la Mezcla				0.95			0.94			0.935			0.93		
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc				1.018			1.018			1.018			1.018		
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.61			2.61			2.61			2.61		
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.63			2.63			2.63			2.63		
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc				3.15			3.15			3.15			3.15		
9	Masa de la briqueta al aire (gr)				1192	1207	1178	1194	1190	1209	1199	1196	1188	1173	1180	1192
10	Masa de la briqueta al agua por 60' (gr)				1202	1218	1192	1202	1199	1217	1202	1202	1204	1178	1185	1196
11	Masa de la briqueta desplazada (gr)				683	666	670	687	681	696	677	691	693	678	680	693
12	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				519	552	522	515	518	521	525	511	511	500	505	503
13	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.297	2.187	2.257	2.318	2.296	2.321	2.283	2.340	2.324	2.347	2.336	2.370
14	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)				2.374			2.445			2.397			2.383		
15	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				3.2	7.9	4.9	5.2	6.1	5.1	4.7	2.4	3.0	1.5	2.0	0.5
16	Peso Especifico Bulk Agregado Total (Gsb)				2.656			2.656			0.0	2.656		2.656		
17	Peso Especifico Efectivo Agregado total (Gse)				2.574			2.686			2.646			2.650		
18	Asfalto Absorbido por el Agregado				-1.22			0.42			-0.15			-0.09		
19	% de Asfalto Efectivo				6.66			5.60			6.64			7.09		
20	Relación Polvo/Asfalto				1.0			0.9			1.0			1.1		
21	V.M.A.				18.2	22.2	19.7	17.9	18.7	17.9	19.6	17.6	18.2	17.8	18.2	17.0
22	% Vacios llenos con C.A.				82.3	64.4	75.0	71.1	67.5	71.5	75.8	86.5	83.3	91.6	89.2	96.9
23	Flujo 0.01"(0.25 mm)				12.0	10.0	14.0	16.0	15.0	17.0	29.0	17.0	15.0	23.0	29.5	33.0
24	Estabilidad sin correjir (Kg)				1343	1139	999	1340	1183	1228	1466	1174	1244	1188	1278	1152
25	Factor de estabilidad				1.00	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.04	1.04	1.04
26	Estabilidad Correjida 27 * 28				1343	1014	999	1340	1183	1228	1407	1174	1244	1235	1329	1198
27	Estabilidad / Flujo				2843	2575	1812	2127	2003	1835	1232	1753	2107	1364	1144	922

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

**LEMS W&C EIRL**  
 WILSON CLAYA AGUILAR  
 TEC. ENGENYOS DE MATERIALES Y SUELOS

**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 2466904



**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de recepción : Diciembre del 2021 2021

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)				
MUESTRA N°	1	2	3	4
1.- PESO DEL FRASCO	602.5	602.5	602.5	602.5
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO (25°C)	2933.6	2933.6	2933.6	2933.6
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2426.8	2446.9	2440.7	2430.6
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA (25°C)	<b>3630.0</b>	<b>3637.0</b>	<b>3622.0</b>	<b>3629.0</b>
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	<b>1203.2</b>	<b>1190.1</b>	<b>1181.3</b>	<b>1198.4</b>
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	506.8	486.7	492.9	503.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	<b>2.374</b>	<b>2.445</b>	<b>2.397</b>	<b>2.383</b>
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>	<b>6.50</b>	<b>7.00</b>

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



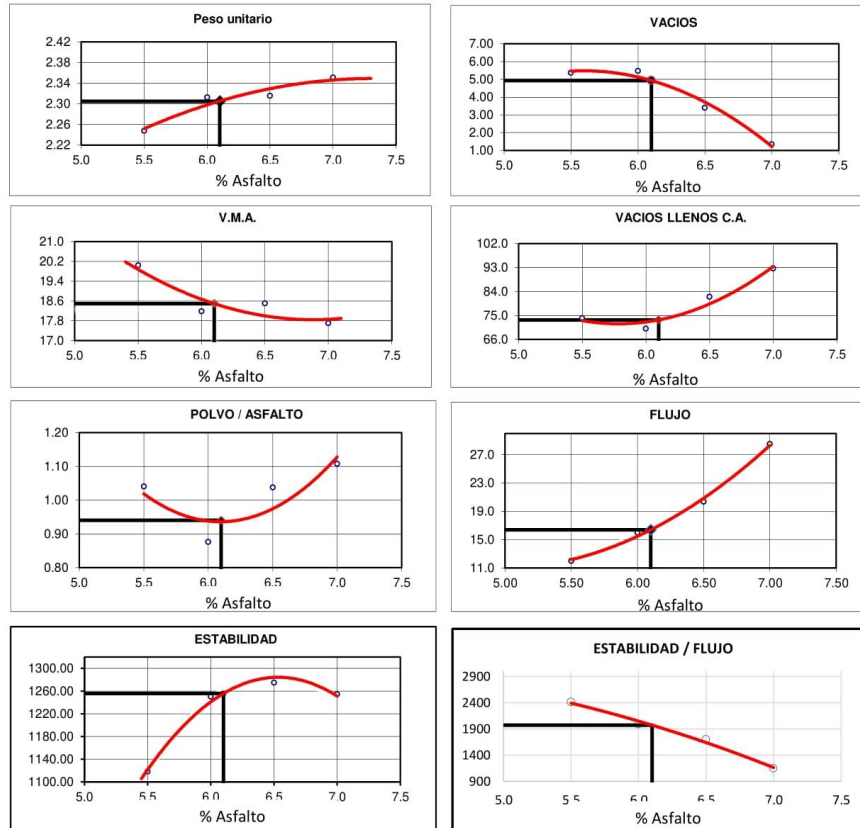
**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904

**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de recepción : Diciembre del 2021



**CARACTERÍSTICAS MARSHALL**

	50	50
GOLPES	50	50
% C.A.	<b>6.10</b>	
P. UNITARIO	<b>2.305</b>	
VACIOS	<b>4.9</b>	3 - 5
V.M.A.	<b>18.5</b>	15.0
V. LL.C.A.	<b>73.3</b>	65-78
POLVO / ASFALTO	<b>0.94</b>	0.6 - 1.3
FLUJO	<b>16</b>	8-16
ESTABILIDAD	<b>12.3</b>	5.44 kN.
ESTABILIDAD/ FLUJO	<b>1970.8</b>	1700 - 4000

  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904

**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de recepción : Diciembre del 2021 2021

<b>INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>				
<b>MUESTRA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1.- PESO DEL FRASCO	581.0	581.0	581.0	581.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO (25°C)	2873.0	2873.0	2873.0	2873.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2423.0	2422.0	2424.1	2424.5
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA (25°C)	3607.0	3611.0	3610.0	3613.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1184.0	1189.0	1185.9	1188.5
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	450.0	451.0	448.9	448.5
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.631	2.636	2.642	2.650
<b>CONTENIDO % DE PET</b>	<b>1.00</b>	<b>1.50</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



**LEMS W&C EIRL**  
WILSON OLAYA AGUILAR  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904

Solicitante: TEJADA BRIOSE NICOLAI ALVIN  
 Proyecto: "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de apertura: Diciembre del 2021

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)																
AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM											
					% pasa Material			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
%	43.00	56.00	1.00	100.00	100	100	93.8	81.4	62.3	52	17.7	11.3	6.4			
BRIQUETA N°																
1	% de CAUCHO				1	2	3	1	2	3	1	2	3			
2	% C.A. en masa de la Mezcla															
3	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla															
4	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla															
5	% de CAUCHO															
6	% Cemento portland en masa de la Mezcla															
7	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc															
8	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc															
9	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc															
10	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) (gr/cc)															
11	Peso Especifico del CAUCHO (gr/cc)															
12	Altura promedio de la briqueta (cm)	4.97	5.18	5.08	5.14	5.21	5.18	5.58	5.28	5.43	5.51	5.57	5.54			
13	Masa de la briqueta al aire (gr)	1175	1208	1191	1174	1183	1179	1253	1185	1219	1187	1187	1187			
14	Masa de la briqueta al agua por 60" (gr)	1176	1210	1193	1177	1182	1180	1255	1187	1221	1190	1191	1191			
15	Masa de la briqueta desplazada (gr)	671	684	678	655	653	654	688	651	670	630	625	628			
16	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)	505	526	516	522	529	526	567	536	552	560	566	563			
17	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)	2.325	2.296	2.310	2.248	2.236	2.242	2.211	2.210	2.210	2.118	2.097	2.107			
18	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.616			2.554			2.441			2.545				
19	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)	11.1	12.2	11.7	12.0	12.5	12.2	9.4	9.5	9.4	16.8	17.6	17.2			
20	Peso Especifico Bulk Agregado Total (Gsb)		2.62			2.60			2.59			2.58				
21	Peso Especifico Efectivo Agregado total (Gse)		2.91			2.83			2.68			2.82				
22	Asfalto Absorbido por el Agregado		3.95			3.13			1.35			3.36				
23	% de Asfalto Efectivo		2.35			3.11			4.80			2.86				
24	Relación Polvo/Asfalto		0.4			0.5			0.8			0.4				
25	V.M.A.	15.7	16.8	16.3	17.7	18.2	18.0	18.3	18.3	18.3	21.0	21.8	21.4			
26	% Vacios llenos con C.A.	29.3	27.2	28.2	32.5	31.5	32.0	48.6	48.4	48.5	20.0	19.1	19.5			
27	Flujo 0,01"(0,25 mm)	31.0	22.0	26.5	25.0	22.0	23.5	24.0	30.0	27.0	30.0	30.0	32.0			
28	Estabilidad sin corregir (Kg)	1571	1288	1429	831	1097	964	1139	861	100	493	670	582			
29	Factor de estabilidad	1.04	0.96	1.00	1.00	0.96	0.96	0.86	0.93	0.89	0.86	0.86	0.86			
30	Estabilidad Corregida 27 * 28	1633	1236	1429	831	1053	925	980	800	89	424	576	500			
31	Estabilidad / Flujo	1338	1428	1370	844	1215	1000	1037	678	84	359	488	397			

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TEC. EN ANÁLISIS DE MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904

**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de recepción : Diciembre del 2021 2021

<b>INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>				
<b>MUESTRA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1.- PESO DEL FRASCO	581.0	581.0	581.0	581.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO (25°C)	2873.0	2873.0	2873.0	2873.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2415.0	2405.7	2385.0	2407.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA (25°C)	3613.0	3599.0	3576.0	3593.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1198.0	1193.3	1191.0	1186.0
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	458.0	467.3	488.0	466.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.616	2.554	2.441	2.545
<b>CONTENIDO % DE CAUCHO</b>	<b>1.00</b>	<b>1.50</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



**LEMS W&C EIRL**  
WILSON OLAYA AGUILAR  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904

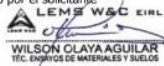
Solicitante **TEJADA BRIOSO NICOLAÍ ALVIN**  
 Proyecto

 Ubicación **"DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"**  
 Fecha de apertura **diciembre 2021**
**INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)**

AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
					% pasa Material			100	100	93.8	81.4	62.3	52	17.7	11.3	6.4
BRIQUETA N°																
1	% de CAUCHO				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	% de PET								<b>1.5</b>			<b>2.0</b>				<b>2.5</b>
3	% C.A. en masa de la Mezcla								<b>1.0</b>			<b>1.0</b>				<b>1.0</b>
4	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla								<b>6.1</b>			<b>6.1</b>				<b>6.1</b>
5	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla								40.38	40.38	40.38	40.38	40.38	40.38	40.38	40.38
6	% de PET								52.58	52.58	52.58	52.58	52.58	52.58	52.58	52.58
7	% de Caucho								0.94	1.41	1.88	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
8	% Cemento portland en masa de la Mezcla								0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
9	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc								0.94	0.94	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939
10	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc								1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
11	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc								2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
12	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) (gr/cc)								2.60	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
13	Peso Especifico del CAUCHO (gr/cc)								3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
14	Peso Especifico del PET (gr/cc)								1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
15	Altura promedio de la briqueta (cm)				4.98	4.97	4.96	5.14	5.17	5.22	5.22	5.22	5.36	5.73	5.51	5.62
16	Masa de la briqueta al aire (gr)				1168	1164	1166	1114	1241	1177	1171	1215	1193	1207	1147	1177
17	Masa de la briqueta al agua por 60' (gr)				1178	1173	1174	1128	1247	1187	1177	1220	1177	1211	1154	1183
18	Masa de la briqueta desplazada (gr)				672	668	670	650	667	635	626	664	626	629	594	612
19	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				506	505	504	522	525	530	530	530	545	582	560	571
20	Peso especifico Bulk de la Briqueta				2.308	2.306	2.313	2.133	2.363	2.221	2.209	2.293	2.189	2.072	2.049	2.061
21	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.431			2.484			2.530			2.472	
22	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				5.1	5.2	4.9	14.1	4.9	10.6	12.7	9.4	13.5	16.2	17.1	16.6
23	Peso Especifico Bulk Agregado Total (Gsb)					2.58			2.57			2.56			2.55	
24	Peso Especifico Efectivo Agregado total (Gse)					2.67			2.74			2.80			2.73	
25	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.35			2.49			3.45			2.63	
26	% de Asfalto Efectivo					4.81			3.72			2.77			3.55	
27	Relación Polvo/Asfalto					0.8			0.6			0.4			0.6	
28	V.M.A.				15	15	14.5	20.4	11.8	17.1	16.7	13.6	17.5	21.2	22.1	21.6
29	% Vacíos llenos con C.A.				65.4	64.9	66.3	30.6	58.5	37.9	24.3	31.0	23.0	23.6	22.3	23.0
30	Flujo 0.01"(0.25 mm)				18.0	14.0	16.0	27.0	22.0	25.0	31.0	38.0	34.5	27.0	33.0	30.0
31	Estabilidad sin corregir (Kg)				1120	1105	1002	738	729	733	1072	882	977	729	628	678
32	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.93	0.83	0.89	0.86
33	Estabilidad Corregida 27 + 28				1165	1149	1042	1120	1100	1200	1029	980	1110	605	559	583
34	Estabilidad / Flujo				1644	2085	1654	1054	1270	1219	843	655	817	569	430	494

Observaciones:

Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante


**WILSON CLAYA AGUILAR**  
 TEC. ENsayos DE MATERIALES Y SUELOS


**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904



**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de recepción : diciembre 2021

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)				
MUESTRA N°	1	2	3	4
1.- PESO DEL FRASCO	581.0	581.0	581.0	581.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO (25°C)	2876.0	2876.0	2876.0	2876.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2382.8	2395.0	2400.8	2391.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA (25°C)	3582.0	3590.0	3603.0	3590.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1199.2	1195.0	1202.2	1199.0
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	493.2	481.0	475.2	485.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.431	2.484	2.530	2.472
CONTENIDO % DE PET	1.00	1.00	1.00	1.00
CONTENIDO % DE CAUCHO	1.00	1.50	2.00	2.50



LEMS W&C EIRL  
WILSON OLAYA AGUILAR  
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS




Miguel Angel Ruiz Perales  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904

Solicitante: TEJADA BRISO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto: "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de apertura: Diciembre del 2021

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)																
AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
					% pasa Material			100	100	93.8	81.4	62.3	52	17.7	11.3	6.4
BRIQUETA N°																
1	% de CAUCHO				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	% de PET							1.5	1.5			2.0				2.5
3	% C.A. en masa de la Mezcla							6.1	6.1			6.1				6.1
4	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla				40.38			40.38				40.38				40.38
5	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla				52.58			52.58				52.58				52.58
6	% de PET				0.94			1.41				1.88				2.35
7	% de Caucho				0.89			0.89				0.89				0.89
8	% Cemento portland en masa de la Mezcla				0.94			0.94				0.939				0.939
9	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.018			1.018				1.018				1.018
10	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.69			2.69				2.69				2.69
11	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.60			2.6				2.6				2.6
12	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) (gr/cc)				3.15			3.15				3.15				3.15
13	Peso Especifico del CAUCHO (gr/cc)				1.32			1.32				1.32				1.32
14	Peso Especifico del PET (gr/cc)				1.39			1.39				1.39				1.39
15	Altura promedio de la briqueta (cm)				5.53	5.52	5.52	5.18	5.70	5.44	5.42	5.47	5.42	5.73	5.51	5.62
16	Masa de la briqueta al aire (gr)				1207	1189	1198	1186	1179	1183	1213	1183	1198	1166	1206	1186
17	Masa de la briqueta al agua por 60 (gr)				1214	1195	1204	1191	1183	1187	1217	1186	1201	1169	1207	1188
18	Masa de la briqueta por desplazamiento (gr)				652	634	643	642	635	639	645	620	633	610	621	616
19	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				562	561	561	526	580	553	551	556	551	582	560	571
20	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.149	2.121	2.135	2.255	2.034	2.139	2.201	2.129	2.174	2.003	2.154	2.077
21	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)							2.502				2.524				2.536
22	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				17.7	18.8	18.2	9.9	18.7	14.5	12.8	15.7	13.9	21.0	15.1	18.1
23	Peso Especifico Bulk Agregado Total (Gsb)				2.59			2.58				2.57				2.55
24	Peso Especifico Efectivo Agregado total (Gse)				2.91			2.76				2.79				2.81
25	Asfalto Absorbido por el Agregado				4.30			2.67				3.23				3.62
26	% de Asfalto Efectivo				1.99			3.53				2.97				2.58
27	Relación Polvo/Asfalto				0.3			0.6				0.5				0.4
28	V.M.A.				20.5	21.6	21.1	15.8	24.1	20.1	17.0	19.8	18.1	23.8	18.1	21.0
29	% Vacios llenos con C.A.				13.8	13.0	13.4	37.5	22.3	28.0	24.9	20.8	23.2	11.6	16.5	13.7
30	Flujo 0,01"(0,25 mm)				32.0	31.0	33.0	27.0	26.0	29.0	31.0	24.0	27.5	31.0	26.0	29.0
31	Estabilidad sin corregir (Kg)				831	798	814	1158	852	1005	1274	854	1064	939	812	875
32	Factor de estabilidad				0.86	0.86	0.86	0.96	0.83	0.89	0.89	0.89	0.89	0.83	0.89	0.86
33	Estabilidad Corregida 27 * 28				714	686	700	1112	707	894	1133	760	947	779	723	753
34	Estabilidad / Flujo				567	562	539	1046	690	783	929	804	874	638	706	659

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON CLAYA AGUILAR**  
 TEC. ESPECIALIZADO EN MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904



**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de recepción : Diciembre del 2021 2021

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)				
MUESTRA Nº	1	2	3	4
1.- PESO DEL FRASCO	581.0	581.0	581.0	581.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO (25°C)	2873.0	2873.0	2873.0	2873.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2416.8	2395.0	2403.9	2405.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA (25°C)	<b>3608.0</b>	<b>3591.0</b>	<b>3588.0</b>	<b>3592.0</b>
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	<b>1191.2</b>	<b>1196.0</b>	<b>1184.1</b>	<b>1187.0</b>
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	456.2	478.0	469.1	468.0
<b>PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )</b>	<b>2.611</b>	<b>2.502</b>	<b>2.524</b>	<b>2.536</b>
<b>CONTENIDO % DE PET</b>	<b>1.50</b>	<b>1.50</b>	<b>1.50</b>	<b>1.50</b>
<b>CONTENIDO % DE CAUCHO</b>	<b>1.00</b>	<b>1.50</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904

Solicitante: TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto: "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de apertura: Diciembre del 2021

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)																
AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
%	43.00	56.00	1.00	100.00	% pasa Material			100	100	93.8	81.4	62.3	52	17.7	11.3	6.4
BRIQUETA N°					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	% de CAUCHO				1.0			1.5				2.0				2.5
2	% de PET				2.0			2.0				2.0				2.0
3	% C.A. en masa de la Mezcla				6.1			6.1				6.1				6.1
4	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla				40.38			40.38				40.38				40.38
5	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla				52.58			52.58				52.58				52.58
6	% de PET				0.94			1.41				1.88				2.35
7	% de Caucho				1.19			1.19				1.19				1.19
8	% Cemento portland en masa de la Mezcla				0.94			0.94				0.939				0.939
9	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.018			1.018				1.018				1.018
10	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.69			2.69				2.69				2.69
11	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.60			2.6				2.6				2.6
12	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) (gr/cc)				3.15			3.15				3.15				3.15
13	Peso Especifico del CAUCHO (gr/cc)				1.32			1.32				1.32				1.32
14	Peso Especifico del PET (gr/cc)				1.39			1.39				1.39				1.39
15	Altura promedio de la briqueta (cm)				5.51	5.25	5.38	5.18	5.70	5.44	5.42	5.47	5.42	5.73	5.51	5.62
16	Masa de la briqueta al aire (gr)				1188	1175	1182	1176	1188	1182	1171	1148	1160	1244	1181	1212
17	Masa de la briqueta al agua por 60' (gr)				1190	1179	1184	1179	1192	1186	1177	1162	1169	1253	1187	1220
18	Masa de la briqueta desplazada (gr)				630	646	638	626	639	633	610	608	609	645	610	628
19	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				560	533	546	526	580	553	551	556	551	582	560	571
20	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.122	2.205	2.163	2.236	2.050	2.138	2.125	2.066	2.105	2.136	2.109	2.123
21	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.528			2.550			2.546				2.494
22	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				16.1	12.8	14.5	12.3	19.6	16.1	16.5	18.8	17.3	14.3	15.4	14.9
23	Peso Especifico Bulk Agregado Total (Gsb)					2.60			2.58			2.57				2.56
24	Peso Especifico Efectivo Agregado total (Gse)					2.80			2.83			2.82				2.75
25	Asfalto Absorbido por el Agregado					2.81			3.36			3.47				2.77
26	% de Asfalto Efectivo					3.40			2.86			2.73				3.40
27	Relación Polvo/Asfalto					0.5			0.4			0.4				0.5
28	V.M.A.				21.5	18.5	20.0	16.5	23.5	20.2	19.9	22.1	20.7	18.7	19.8	19.2
29	% Vacios llenos con C.A.				25.4	30.8	27.8	25.5	16.5	20.0	17.0	14.9	16.2	23.5	22.0	22.7
30	Flujo 0,01"(0,25 mm)				29.0	29.0	33.0	24.0	27.0	25.5	28.0	31.0	30.0	30.0	26.0	28.0
31	Estabilidad sin corregir (Kg)				942	936	939	810	878	844	829	666	747	938	793	866
32	Factor de estabilidad				0.89	0.96	0.93	0.96	0.83	0.89	0.89	0.89	0.89	0.83	0.89	0.86
33	Estabilidad Corregida 27 * 28				838	898	873	778	729	751	738	593	665	779	706	744
34	Estabilidad / Flujo				734	787	672	823	686	748	669	486	563	659	689	675

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante

**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de recepción : Diciembre del 2021 2021

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)				
MUESTRA Nº	1	2	3	4
1.- PESO DEL FRASCO	581.0	581.0	581.0	581.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO (25°C)	2873.0	2873.0	2873.0	2873.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2407.7	2400.0	2409.1	2395.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA (25°C)	<b>3584.0</b>	<b>3606.0</b>	<b>3590.0</b>	<b>3587.0</b>
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	<b>1176.3</b>	<b>1206.0</b>	<b>1180.9</b>	<b>1192.0</b>
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	465.3	473.0	463.9	478.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.528	2.550	2.546	2.494
<b>CONTENIDO % DE PET</b>	<b>2.00</b>	<b>2.00</b>	<b>2.00</b>	<b>2.00</b>
<b>CONTENIDO % DE CAUCHO</b>	<b>1.00</b>	<b>1.50</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904

Solicitante: TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto: "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de apertura: Diciembre del 2021

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)																	
AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200	
%	43.00	56.00	1.00	100.00	% pasa Material			100	100	93.8	81.4	62.3	52	17.7	11.3	6.4	
BRIQUETA N°					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	% de CAUCHO					1.0			1.5			2.0				2.5	
2	% de PET					2.5			2.5			2.5				2.5	
3	% C.A. en masa de la Mezcla					6.1			6.1			6.1				6.1	
4	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla					40.38			40.38			40.38				40.38	
5	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla					52.58			52.58			52.58				52.58	
6	% de PET					0.94			1.41			1.88				2.35	
7	% de Caucho					1.49			1.49			1.49				1.49	
8	% Cemento portland en masa de la Mezcla					0.94			0.94			0.939				0.939	
9	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.018			1.018			1.018				1.018	
10	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.69			2.69			2.69				2.69	
11	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.60			2.6			2.6				2.6	
12	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) (gr/cc)					3.15			3.15			3.15				3.15	
13	Peso Especifico del CAUCHO (gr/cc)					1.32			1.32			1.32				1.32	
14	Peso Especifico del PET (gr/cc)					1.39			1.39			1.39				1.39	
15	Altura promedio de la briqueta (cm)				5.50	5.78	5.64	5.18	5.70	5.44	5.42	5.47	5.42	5.73	5.51	5.62	
16	Masa de la briqueta al aire (gr)				1139	1212	1176	1154	1202	1178	1178	1200	1189	1143	1199	1171	
17	Masa de la briqueta al agua por 60 (gr)				1152	1220	1186	1160	1208	1184	1185	1209	1197	1152	1211	1181	
18	Masa de la briqueta desplazada (gr)				593	632	613	596	627	612	598	608	603	594	607	601	
19	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				559	588	573	526	580	553	551	556	551	582	560	571	
20	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.040	2.063	2.052	2.193	2.075	2.131	2.138	2.160	2.158	1.963	2.141	2.050	
21	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.616			2.568			2.484				2.540	
22	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				22.0	21.1	21.6	14.6	19.2	17.0	14.0	13.1	13.1	22.7	15.7	19.3	
23	Peso Especifico Bulk Agregado Total (Gsb)					2.61			2.59			2.58				2.57	
24	Peso Especifico Efectivo Agregado total (Gse)					2.91			2.85			2.74				2.81	
25	Asfalto Absorbido por el Agregado					4.12			3.55			2.30				3.44	
26	% de Asfalto Efectivo					2.13			2.67			3.86				2.74	
27	Relación Polvo/Asfalto					0.3			0.4			0.6				0.4	
28	V.M.A.				24.6	23.7	24.1	18.1	22.5	20.4	19.4	18.6	18.7	25.3	18.5	22.0	
29	% Vacios llenos con C.A.				10.4	10.9	10.7	19.4	14.8	16.7	28.2	29.8	29.6	10.3	15.3	12.3	
30	Flujo 0,01"(0,25 mm)				26.0	25.0	25.5	29.0	30.0	29.5	32.0	30.0	31.0	31.0	31.0	28.0	
31	Estabilidad sin corregir (Kg)				556	1017	786	888	913	900	787	809	798	377	780	578	
32	Factor de estabilidad				0.89	0.81	0.86	0.96	0.83	0.89	0.89	0.89	0.89	0.83	0.89	0.86	
33	Estabilidad Corregida 27 * 28				495	823	676	852	757	801	701	720	710	313	694	497	
34	Estabilidad / Flujo				483	837	674	746	641	690	556	610	582	256	568	451	

Observaciones:  
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 T.E.C. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 246904

**INFORME**

Solicitante : TEJADA BRIOSO NICOLAI ALVIN  
 Proyecto : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ECOLÓGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
 Fecha de recepción : Diciembre del 2021 2021

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)				
MUESTRA Nº	1	2	3	4
1.- PESO DEL FRASCO	581.0	581.0	581.0	581.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO (25°C)	2873.0	2873.0	2873.0	2873.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2419.3	2405.0	2394.0	2401.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA (25°C)	<b>3606.0</b>	<b>3607.0</b>	<b>3584.0</b>	<b>3600.0</b>
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	<b>1186.7</b>	<b>1202.0</b>	<b>1190.0</b>	<b>1199.0</b>
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	453.7	468.0	479.0	472.0
<b>PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )</b>	<b>2.616</b>	<b>2.568</b>	<b>2.484</b>	<b>2.540</b>
<b>CONTENIDO % DE PET</b>	<b>2.50</b>	<b>2.50</b>	<b>2.50</b>	<b>2.50</b>
<b>CONTENIDO % DE CAUCHO</b>	<b>1.00</b>	<b>1.50</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



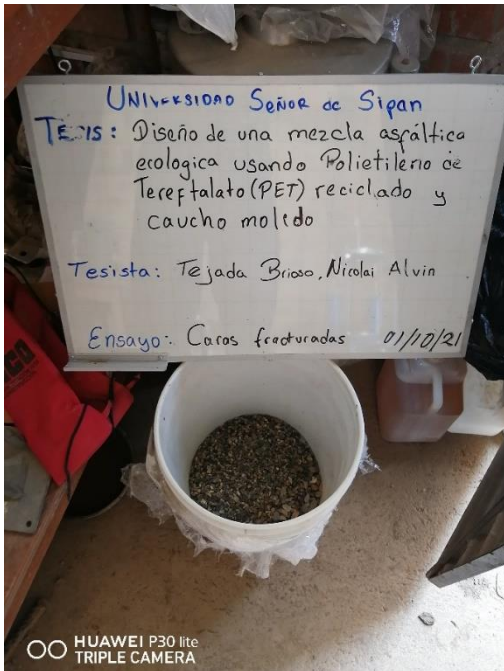
**LEMS W&C EIRL**  
**WILSON OLAYA AGUILAR**  
 TÈC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



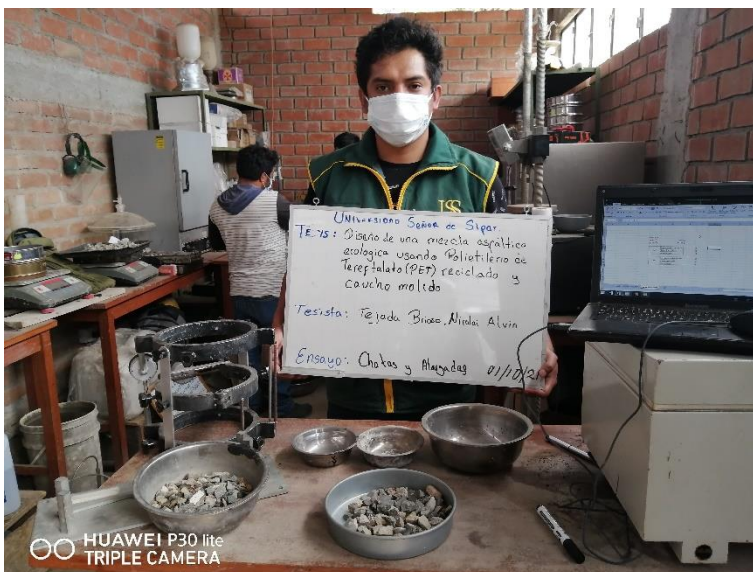
**Miguel Angel Ruiz Perales**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904



## 6.4 Anexo 04 – Evidencias fotográficas



**Figura 48** Agregado grueso



**Figura 49** Ensayo de chatas y alargadas



**Figura 50** *Ensayo de contenido de sales solubles*



**Figura 51** *Ensayo de equivalente de arena*



**Figura 52** Ensayo peso específico



**Figura 53** Agregado grueso usado para ensayo de granulometría





**Figura 54** Ensayo Limites de Atterberg



**Figura 55** Ensayo peso específico de los agregados



**Figura 56** Elaboración de briquetas



**Figura 57** Muestra patrón



**Figura 58** Ensayo Marshall



**Figura 59** Ensayo Rice

## 6.5 Anexo 05 – Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS Y VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b><u>Problema:</u></b> ¿Será la mejor alternativa tener un diseño de una mezcla asfáltica ecológica si se usa polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Diseñar una mezcla asfáltica ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido, Lambayeque</p> <p><b>Objetivo Específicos:</b></p> <p>a) Utilizar el método Marshall para obtener resultados de una mezcla asfáltica ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido</p> <p>b) Estimar la proporción óptima del PET y Caucho Molido para diseñar una mezcla asfáltica ecológica.</p>	<p><b><u>Antecedentes:</u></b> Bravo Cabrera &amp; Montalvo Malca, 2019), (Carrizales Apaza, 2015, (Canta &amp; Vivas, 2018), (Rodríguez Elera, 2020), (Navarro Jiménez, 2017), (Cervera Borja, 2016).</p> <p><b><u>Teorías relacionadas al tema:</u></b> Las mezclas asfálticas en su estado fresco tienen características como la temperatura, peso específico bulk, vacíos llenos de aire, en su estado por otro lado las mezclas asfálticas en su estado sólido tienen características como estabilizada, relación polvo y asfalto, peso específico teórico máximo y relación estabilidad flujo.</p> <p>El ensayo de peso específico se realizó a los</p>	<p><b><u>Hipótesis General:</u></b> Si se utiliza caucho molido y PET en las MAC entonces se podrá mejorar sus características mecánicas.</p> <p><b><u>Variables:</u></b></p> <p><b><u>Variable dependiente:</u></b> Mezcla asfáltica en caliente: Se empleó una mezcla de agregado fino, grueso, filler y cemento asfáltico tipo PEN 60/70 con temperatura superior a los 135 °C.</p> <p><b><u>Variable independiente:</u></b> MAC con PET: Se elaboro de igual forma que una mezcla asfáltica en caliente</p>	<p><b><u>Método de Investigación:</u></b> <b><u>Tipo de Investigación:</u></b> Tecnológico (Se utilizó normativas vigentes para elaborar el ensayo).</p> <p><b><u>Diseño de investigación:</u></b> La investigación es experimental.</p> <p><b><u>Población:</u></b> Mezcla asfáltica en Caliente con diferentes porcentajes de PET y caucho molido.</p> <p><b><u>Muestra:</u></b> Se realizó un total de (84) las cuales 12 briquetas para la mezcla asfáltica en caliente patrón, 12 briquetas para la mezcla asfáltica en caliente modificada con PET, 12 briquetas para la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho molido y 48 briquetas para mezcla asfáltica en</p>

- 
- |  |                                     |  |  |
|--|-------------------------------------|--|--|
| c) Realizar la comparación de una MAC convencional y una MAC ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido | la materiales como el PET y caucho. | convencional agregando PET.  | combinación de ambos, todas las briquetas se elaboraron con una temperatura de diseño de 135 °C. |
| d) Analizar costos que implican la fabricación de una mezcla asfáltica ecológica.  |                                     | MAC con caucho: Se elaboro de igual forma que una mezcla asfáltica en caliente convencional agregando caucho molido. |  |
-