

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Evaluación de mezclas asfálticas en caliente con polímeros reciclables  
y convencionales usando la cantera Allccomachay en la provincia de  
Huanta 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Danny Rojas Quinto

**ASESOR:**

MSc. Ing. Hemerson Lizarbe Alarcón

Ayacucho - Perú

2022

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****ACTA N° 284-2022-FIMGC**

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 614-2022-FIMGC-D**, siendo los quince días del mes de noviembre del 2022, a horas 8:00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, jurado el **MSc. Ing. Ángel Hugo VILCHEZ PEÑA**, jurado el **MSc. Ing. Víctor BELLIDO AEDO**, jurado asesor **MSc. Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada **“EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON POLÍMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020”**, sustentado por el señor **Danny ROJAS QUINTO**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Civil**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **14 (catorce)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por Dr.  
Ing. Efraín Elías Porras Flores  
Fecha: 2022.12.05 09:09:52  
-05'00'

**Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**  
Presidente

**MSc. Ing. Ángel Hugo VILCHEZ PEÑA**  
Jurado

**MSc. Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN**  
Jurado - Asesor

**MSc. Ing. Víctor BELLIDO AEDO**  
Jurado

Firmado  
digitalmente por  
**LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN**

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Secretario del Proceso

c.c.:  
Bach. Danny ROJAS QUINTO  
Jurados (4)  
Archivo

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN****CONSTANCIA N° 396-2022-FIMGC**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 281-2022-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : ROJAS QUINTO, Danny  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA CIVIL  
**Título de la Tesis** : Evaluación de mezclas asfálticas en caliente con polímeros reciclables y convencionales usando la cantera Allcomachay en la provincia de Huanta 2020  
**Evaluación de la Originalidad** : **23 %** Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 1950956980

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 12 de noviembre del 2022

Firmado digitalmente  
por LEZAMA  
CUELLAR CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**

Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
de la FIMGC

# Evaluación de mezclas asfálticas en caliente con polímeros reciclables y convencionales usando la cantera Allccomachay en la provincia de Huanta 2020

*por* Danny Rojas Quinto

---

**Fecha de entrega:** 11-nov-2022 01:55a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1950956980

**Nombre del archivo:** Danny\_Rojas\_Quinto\_EPIC.pdf (10.95M)

**Total de palabras:** 65664

**Total de caracteres:** 326798

# Evaluación de mezclas asfálticas en caliente con polímeros reciclables y convencionales usando la cantera Allccomachay en la provincia de Huanta 2020

## INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
7	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	vbook.pub Fuente de Internet	1%

9	<a href="http://www.worldfy.pe">www.worldfy.pe</a> Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad Rafael Landívar Trabajo del estudiante	1 %
11	<a href="http://repositorio.ucp.edu.pe">repositorio.ucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
12	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1 %
13	<a href="http://www.vivienda.gob.pe">www.vivienda.gob.pe</a> Fuente de Internet	1 %
14	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	1 %
15	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	1 %
16	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
17	<a href="http://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %

21 Norma Cristina Solarte Vanegas. "Efecto en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica modificada con añadido de residuos triturados de la industria cerámica", Universitat Politecnica de Valencia, 2022  
Publicación <1 %

---

22 [repositorio.uis.edu.co](https://repositorio.uis.edu.co)  
Fuente de Internet <1 %

---

23 [repositorio.uss.edu.pe](https://repositorio.uss.edu.pe)  
Fuente de Internet <1 %

---

24 Submitted to Universidad Continental  
Trabajo del estudiante <1 %

---

25 [es.scribd.com](https://es.scribd.com)  
Fuente de Internet <1 %

---

26 Submitted to Universidad Andina del Cusco  
Trabajo del estudiante <1 %

---

27 [docplayer.es](https://docplayer.es)  
Fuente de Internet <1 %

---

28 Submitted to Universidad Cesar Vallejo  
Trabajo del estudiante <1 %

---

29 [repository.unimilitar.edu.co](https://repository.unimilitar.edu.co)  
Fuente de Internet <1 %

---

30 [ri.ues.edu.sv](https://ri.ues.edu.sv)  
Fuente de Internet <1 %

---

31	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://www.gob.pe">www.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://www.lanamme.ucr.ac.cr">www.lanamme.ucr.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
38	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
39	<a href="http://docslide.us">docslide.us</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://kupdf.net">kupdf.net</a> Fuente de Internet	<1 %

42	<a href="https://repositorio.une.edu.pe">repositorio.une.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
43	Gabriel Antonio Navarrete Schettini. "Diseño de mezclas asfálticas integrando residuos sólidos de la industria automovilística (elastómero) y de vías (pavimento asfáltico envejecido) en Manabí, Ecuador", Industrial Data, 2019 Publicación	<1 %
44	<a href="http://www.academia.edu">www.academia.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="https://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
46	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
47	<a href="https://repository.ucatolica.edu.co">repository.ucatolica.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
49	<a href="https://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="https://solutions-in-plastics.info">solutions-in-plastics.info</a> Fuente de Internet	<1 %
51	<a href="http://www.revistaeconomia.com">www.revistaeconomia.com</a> Fuente de Internet	<1 %

<1 %

52

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1 %

53

Submitted to Universidad de Huanuco

Trabajo del estudiante

<1 %

54

repositorio.unach.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

55

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

<1 %

56

creativecommons.org

Fuente de Internet

<1 %

57

fr.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

58

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

59

pt.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

# Resumen

La investigación tiene por objetivo como la incorporación de polímeros reciclables (PET y GNM) influye en la evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente convencionales versus las modificadas, por ello se usa la cantera Allccomachay en la provincia de Huanta.

El diseño de la investigación es de tipo experimental para lo cual se elaboran briquetas de mezclas asfálticas compactadas con y sin adición de polímeros reciclables que varían en el rango (PET + GNM = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%) en reemplazo del agregado fino mediante la vía seca, estos diseños se realizan mediante la metodología Marshall. Este procedimiento consiste en encontrar un C.A óptimo y polímeros reciclables óptimos. Con estos valores óptimos se preparan las briquetas y se realizan los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas como la estabilidad, flujo, el desgaste de briquetas compactadas mediante el ensayo de cántabro y el ahuellamiento (deformación permanente no recuperable y la susceptibilidad al daño inducido por humedad) tanto de la mezcla asfáltica convencional y modificada.

Los resultados muestran que al realizar briquetas con cemento asfáltico óptimo = 6.18% y la adición de polímeros reciclables óptimos = 1.50% (PET=62.5% + GNM=37.5%) en reemplazo del agregado fino por vía seca, influye en la disminución de la estabilidad Marshall en 15.10% respecto al diseño convencional, de la misma manera hay un aumento de la fluencia Marshall en un 11.17% con respecto al diseño convencional cuyos valores se encuentran dentro del rango establecido por el manual de carreteras especificaciones técnicas generales MTC/2014. Las briquetas elaboradas con adición de polímeros reciclables presentan un menor desgaste respecto a la convencional en un 9.92%, esto se traduce en una mejor durabilidad de los pavimentos. Finalmente al realizar el ensayo Hamburgo para medir el ahuellamiento, el diseño modificado con polímeros reciclables soporta mas pasadas de la rueda de Hamburgo en un 34.38% respecto al diseño convencional. Con estos resultados podemos concluir que al usar material reciclable en los diseños de mezclas asfálticas en caliente se logra mejorar la propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica y hay una reducción significativa del impacto ambiental al usar estos materiales reciclables.

*Palabras clave* : Mezclas asfálticas, polímeros reciclables, PET, GNM, convencionales, modificadas, Marshall, desgaste de cántabro y ahuellamiento.

# Abstract

The objective of the research is how the incorporation of recyclable polymers (PET and GNM) influences the evaluation of the mechanical properties of conventional hot asphalt mixtures versus modified ones, for which the Allcomachay quarry in the province of Huanta is used. The design of the research is of an experimental type, for which briquettes are made from compact asphalt mixtures with and without the addition of recyclable polymers that vary in the range (PET + GNM = 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0%) in replacement of the fine aggregate by the dry way, these designs are made by the Marshall methodology. This procedure consists of finding an optimal C.A and optimal recyclable polymers. With these optimal values, the briquettes are prepared and the tests are carried out to determine the mechanical properties of the asphalt mixtures such as stability, flow, wear of compacted briquettes by means of the cantabro test and rutting (non-recoverable permanent deformation and susceptibility to moisture-induced damage) of both the conventional and modified asphalt mix.

The results show that when making briquettes with optimal asphalt cement = 6.18% and the addition of optimal recyclable polymers = 1.50% (PET=62.5% + GNM=37.5%) in replacement of the fine aggregate by dry process, it influences the decrease in Marshall stability by 15.10% with respect to the conventional design, in the same way there is an increase in Marshall creep by 11.17% with respect to the conventional design whose values are within the range established by the road manual specifications general techniques MTC/2014. The briquettes made with the addition of recyclable polymers have less wear than the conventional one by 9.92%, this translates into a better durability of the pavements. Finally, when carrying out the Hamburg test to measure rutting, the design modified with recyclable polymers supports more passes of the Hamburg wheel by 34.38% compared to the conventional design. With these results we can conclude that by using recyclable material in hot mix asphalt designs, it is possible to improve the mechanical properties of the asphalt layer and there is a significant reduction in environmental impact when using these recyclable materials.

*keywords* : Asphalt mixtures, recyclable polymers, PET, GNM, conventional, modified, Marshall, cantabro wear and rutting.

# Introducción

La presente investigación se realiza en el área de la ingeniería vial, se usa como uno de los componentes un material reciclable (PET=tereftalato de polietileno + GNM=granos de neumático molido) en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, la dosificación de estos materiales van juntos en diferentes porcentajes para elaborar briquetas compactadas.

En el Perú según el reporte del (MTC,2021) hasta julio del año 2021 se cuenta con 175589 km de longitud de la red vial (nacional, departamental y vecinal), de las cuales sólo el 16.84% (29579 km) de las carreteras se encuentran pavimentadas y el 83.16% (146010 km) de las carreteras no se encuentran pavimentadas. Ante esta necesidad de carreteras que faltan ser pavimentadas en el país se propone diseñar mezclas asfálticas en caliente con incorporación de polímeros reciclables.

El trabajo de investigación experimental se basa en analizar y evaluar los materiales componentes (piedra chancada 1/2", arena chancada, arena zarandeada, ligante asfáltico, PET y GNM) en campo y laboratorio. Con estos componentes se diseñan y elaboran briquetas de mezclas asfálticas compactadas con y sin adición de polímeros reciclables, después las briquetas son sometidos a ensayos de la estabilidad y fluencia Marshall mediante la norma MTC E 504, para las pruebas de desgaste de briquetas compactadas se basan en la normativa MTC E 515 y los ensayos de rueda cargada de Hamburgo (ahuellamiento) se usa la normativa AASHTO T324. Con los resultados se realiza una evaluación y análisis comparativo de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas.

Se realiza un análisis comparativo a nivel de costos entre las mezclas asfálticas modificadas versus la mezclas asfálticas convencionales, también se realiza el estudio de impacto ambiental que genera usar polímeros reciclables en la elaboración de la carpeta asfáltica.

Para poder evaluar el valor de la significancia que tiene un diseño convencional con respecto al diseño modificado con adición de polímeros, se utilizan pruebas estadísticas de T-Student para pruebas relacionadas y la prueba estadística ANOVA, con estas pruebas se realizan la contrastación de las hipótesis planteadas.

La estructura de la presente investigación está organizado de la siguiente manera:

---

**Capítulo 1 - Planteamiento del problema:** En este apartado se describe el planteamiento del problema de la investigación, se plantea los objetivos generales y específicos de la presente tesis. □

**Capítulo 2 - Marco teórico:** En este apartado se realiza la búsqueda de datos bibliográficos vigentes dentro del área que se está investigando, es decir es la teoría científica que sustenta el trabajo de investigación.

**Capítulo 3 - Método de investigación:** En este apartado se describen los procedimientos y metodología que se usan en la elaboración de la tesis, se formulan las posibles hipótesis y se definen las variables de la investigación.

**Capítulo 4 - Resultados:** En este apartado se realiza la contrastación de las hipótesis planteadas y se realiza el análisis e interpretación de los resultados.

**Conclusiones:** En este apartado se dan las conclusiones relacionadas a las hipótesis planteadas que derivan de los hallazgos de la investigación. Seguidamente se dan las recomendaciones para desarrollo de trabajos de investigación similares.

**Referencias bibliográficas:** En este apartado se colocan las citas bibliográficas de diferentes autores que se encuentran durante todo el trabajo de investigación.

**Anexos:** En este apartado van los documentos que complementan el trabajo de tesis.

*Dedicatoria*

*A mis padres y hermanos por ser el soporte y apoyo incondicional en cada instante de mi vida.*

# Agradecimientos

*Al MSc. Ing. Hemerson Lizarbe Alarcón, asesor de la tesis por el apoyo, las recomendaciones en el proceso de elaboración del trabajo de investigación.*

*A mis jurados el MSc. Ing. Ángel Hugo Vilchez Peña y MSc. Ing. Víctor Bellido Aedo, por sus recomendaciones y observaciones para mejorar la presente investigación..*

*A Ing Victor Portal Quicaña, por sus recomendaciones y permitirme usar las instalaciones del laboratorio Ingeotecon y a la empresa TDM asfaltos.*

*A mis docentes de la escuela de formación profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por su contribución durante mi desarrollo académico y profesional.*

*A mi alma mater la tricentenaria Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por acogerme en sus aulas y formarme como un profesional con valores y principios.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

A. ACUCHO, OCTUBRE DE 2022

*BACH. DANNY ROJAS QUINTO*

# Índice general

Resumen . . . . .	ii
Abstract . . . . .	iii
Introducción . . . . .	iv
Dedicatoria . . . . .	vi
Agradecimientos . . . . .	vii
Índice general . . . . .	viii
Índice de figuras . . . . .	xiv
Índice de tablas . . . . .	xix
Glosarios . . . . .	xxiv
Lista de acrónimos . . . . .	xxv
Símbolos . . . . .	xxvi

## Capítulo I

<b>Planteamiento del problema . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema . . . . .	1
1.1.1. Descripción del problema . . . . .	1
1.1.1.1. Descripción del problema mundial . . . . .	1
1.1.1.2. Descripción del problema nacional . . . . .	3
1.1.1.3. Descripción del problema regional . . . . .	6
1.2. Delimitación del problema. . . . .	7
1.2.1. Espacial (geográfica) . . . . .	7
1.2.2. Temporal. . . . .	7
1.2.3. Temática y unidad de análisis. . . . .	7
1.3. Formulación del problema. . . . .	8
1.3.1. Problema general. . . . .	8
1.3.2. Problemas específicos. . . . .	8
1.4. Justificación e importancia. . . . .	8
1.4.1. Justificación . . . . .	8
1.4.2. Importancia . . . . .	9
1.5. Limitaciones de la investigación. . . . .	10
1.6. Objetivos. . . . .	10
1.6.1. Objetivo general. . . . .	10
1.6.2. Objetivos específicos. . . . .	10

**Capítulo II**

<b>Marco teórico. ....</b>	<b>11</b>
2.1. Antecedentes. ....	11
2.1.1. Investigaciones internacionales . . . . .	11
2.1.2. Investigaciones nacionales. ....	12
2.2. Bases teóricas . . . . .	13
2.2.1. Mezclas asfálticas . . . . .	13
2.2.2. Mezclas asfálticas caliente. ....	13
2.2.3. Componentes de las mezclas asfálticas en caliente . . . . .	14
2.2.3.1. Cemento asfático . . . . .	14
2.2.3.2. Agregados pétreos . . . . .	14
2.2.3.3. Normativa para ensayos de los agregados gruesos (grava triturada 1/2")	15
2.2.3.4. Durabilidad (MTC E 209) . . . . .	15
2.2.3.5. Abrasión de los ángeles (MTC E 207). . . . .	16
2.2.3.6. Adherencia (MTC E 517) . . . . .	16
2.2.3.7. Índice de durabilidad (MTC E 214). . . . .	17
2.2.3.8. Partículas chatas y alargadas (MTC E 223). . . . .	18
2.2.3.9. Caras fracturadas (MTC E 210). . . . .	18
2.2.3.10. Sales solubles totales (MTC E 219). . . . .	18
2.2.3.11. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos (MTC E 206)	19
2.2.3.12. Normativa para ensayos de los agregados finos . . . . .	20
2.2.3.13. Equivalente arena (MTC E 114) . . . . .	20
2.2.3.14. Angularidad del agregado fino (MTC E 222) . . . . .	21
2.2.3.15. Índice de durabilidad (MTC E 214). . . . .	21
2.2.3.16. Índice de plasticidad (malla N° 200) (MTC E 111). . . . .	22
2.2.3.17. Sales solubles totales (MTC E 2019). . . . .	22
2.2.4. Mezclas asfálticas modificadas . . . . .	22
2.2.5. Tereftalato de polietileno (PET). . . . .	23
2.2.5.1. Ventajas . . . . .	24
2.2.5.2. Desventajas . . . . .	24
2.2.6. Granos de neumático molido (GNM) . . . . .	25
2.2.7. Métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente. . . . .	28
2.2.7.1. Método Marshall . . . . .	28

2.2.8. Propiedades volumétricas . . . . .	31
2.2.8.1. Gravedad específica bulk . . . . .	31
2.2.8.2. Gravedad específica efectiva del agregado . . . . .	31
2.2.8.3. Gravedad específica teórica máxima de mezclas con diferentes contenidos de asfalto . . . . .	32
2.2.8.4. Porcentaje de vacíos de aire en mezcla compactada . . . . .	32
2.2.8.5. Porcentaje de VMA en mezcla compactada . . . . .	33
2.2.8.6. Absorción de asfalto . . . . .	33
2.2.8.7. Contenido de asfalto efectivo de la mezcla . . . . .	34
2.3. Marco conceptual . . . . .	34
2.3.1. Ensayo de cántabro (MTC E 515) . . . . .	34
2.3.2. Pruebas de desempeño del diseño de mezclas asfálticas . . . . .	35
2.3.2.1. Ensayo de rueda cargada de Hamburgo (AASHTO T-324). . . . .	35
<b>Capítulo III</b>	
<b>Método de la investigación . . . . .</b>	<b>38</b>
3.1. Enfoque . . . . .	38
3.2. Alcance . . . . .	38
3.3. Diseño de investigación. . . . .	38
3.4. Población y muestra . . . . .	39
3.4.1. Población. . . . .	39
3.4.2. Muestra del estudio . . . . .	39
3.5. Hipótesis . . . . .	40
3.5.1. Hipótesis general . . . . .	40
3.5.2. Hipótesis específicas . . . . .	40
3.6. Operacionalización de variables . . . . .	41
3.6.1. Variables. . . . .	41
3.6.2. Indicadores. . . . .	41
3.7. Técnicas e instrumentos . . . . .	42
3.7.1. Técnicas . . . . .	42
3.7.2. Instrumentos. . . . .	43
3.7.3. Instrumentos para recolección y procesamiento de datos . . . . .	44
3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información. . . . .	46
3.9. Análisis cuantitativo de los datos . . . . .	46
3.9.1. Análisis estadístico inferencial . . . . .	46
3.9.2. Análisis de la varianza (ANOVA) . . . . .	47
3.9.2.1. Hipótesis de normalidad . . . . .	47

3.9.2.2.	Hipótesis de homogeneidad de varianzas . . . . .	47
3.9.2.3.	Comparaciones múltiples post hoc mediante la prueba Tukey . . . . .	47
3.10.	Desarrollo del trabajo de tesis . . . . .	48
3.10.1.	Identificación de la zona de estudio. . . . .	49
3.10.2.	Ubicación y acceso de la cantera para la investigación. . . . .	49
3.10.3.	Estudio de los agregados . . . . .	51
3.10.3.1.	Ensayos para los agregados gruesos (grava triturada 1/2”) . . . . .	51
3.10.3.2.	Ensayos para los agregados finos . . . . .	52
3.10.4.	Estudio de polímeros reciclables PET y GNM . . . . .	53
3.10.4.1.	Procedimiento de fabricación . . . . .	53
3.10.4.2.	Caracterización y especificación técnica . . . . .	56
3.10.5.	Ensayos en el cemento asfáltico 120/150 (repsol-refinería la Pampilla). . . . .	60
3.10.6.	Análisis granulométrico de los agregados . . . . .	62
3.10.7.	Combinación teórico de diseño de asfalto convencional MAC 2 . . . . .	65
3.10.8.	Diseño de las mezclas asfálticas en caliente convencionales . . . . .	66
3.10.8.1.	Preparación de muestras . . . . .	67
3.10.8.2.	Diseño de pastones para mezcla asfáltica convencional . . . . .	68
3.10.8.3.	Elaboración de briquetas de diseño convencional . . . . .	70
3.10.8.4.	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb) . . . . .	73
3.10.8.5.	Peso específico máxima teórica (RICE) . . . . .	73
3.10.8.6.	Ensayo de estabilidad y fluencia Marshall. . . . .	74
3.10.9.	Diseño de las mezclas asfálticas en caliente modificadas . . . . .	75
3.10.9.1.	Análisis granulométrico de polímeros reciclables. . . . .	75
3.10.9.2.	Combinación teórico de diseño de asfalto modificado MAC 2 . . . . .	77
3.10.9.3.	Diseño de mezcla asfáltica para polímeros reciclables (PET+GNM) = 0.5% . . . . .	78
3.10.9.4.	Diseño de mezcla asfáltica para polímeros reciclables (PET+GNM) = 1.0% . . . . .	80
3.10.9.5.	Diseño de mezcla asfáltica para polímeros reciclables (PET+GNM) = 1.5% . . . . .	82
3.10.9.6.	Diseño de mezcla asfáltica para polímeros reciclables (PET+GNM) = 2.0% . . . . .	85
3.10.10.	Ensayo de desgaste de cántabro MTC E 515. . . . .	88
3.10.10.1.	Ensayo de desgaste por cántabro convencional. . . . .	88

3.10.10.2. Ensayo de desgaste por cántabro modificado con polímeros reciclables.....	89
3.10.11. Ensayo rueda cargada de Hamburgo AASHTO T 324 .....	90
<b>Capítulo IV</b>	
<b>Resultados.....</b>	<b>96</b>
4.1. Contratación de hipótesis.....	96
4.1.1. Hipótesis específica 1.....	96
4.1.1.1. Prueba de normalidad de la estabilidad y flujo Marshall.....	96
4.1.1.2. Normalidad de la estabilidad Marshall .....	97
4.1.1.3. Homogeneidad de varianza .....	97
4.1.1.4. Prueba estadístico ANOVA .....	98
4.1.1.5. Prueba de post hoc para la estabilidad Marshall .....	99
4.1.1.6. Prueba de normalidad de flujo Marshall .....	99
4.1.1.7. Homogeneidad de varianza .....	100
4.1.1.8. Prueba estadístico ANOVA .....	100
4.1.1.9. Pruebas robustas de igualdad de medias .....	101
4.1.1.10. Prueba de post hoc (Tukey) para el flujo Marshall .....	101
4.1.2. Hipótesis específica 2.....	102
4.1.2.1. Prueba de normalidad de desgaste de briquetas convencionales y modificadas .....	102
4.1.2.2. Prueba T-student para muestras relacionadas .....	103
4.1.3. Hipótesis específica 3.....	104
4.1.4. Hipótesis general .....	105
4.2. Análisis e interpretación .....	106
4.2.1. Resultados y análisis de diseño convencional y modificado.....	106
4.2.1.1. Resultados y análisis de diseño convencional .....	106
4.2.1.2. Resultados y análisis de diseño modificado con polímeros reciclables	112
4.2.1.3. Ensayo de desgaste por cántabro .....	124
4.2.1.4. Ensayo de rueda cargada de Hamburgo (ahuellamiento).....	125
4.2.1.5. Análisis comparativo a nivel de costos entre las mezclas asfálticas modificadas versus las convencionales .....	126
4.2.1.6. Evaluación de la mitigación ambiental .....	149
<b>Conclusiones.....</b>	<b>153</b>
Conclusiones .....	153

---

Recomendaciones .....	154
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	<b>155</b>
<b>Anexo A</b>	
Reporte de análisis de C.A. PEN 120/150 .....	159
<b>Anexo B</b>	
Estudio de agregados .....	160
<b>Anexo C</b>	
Reporte de ensayos realizados .....	161
C.1. Gravedad específica bruta de mezcla asfáltica (Gmb) .....	161
C.2. Gravedad específica teórica máxima (Gmm) .....	166
C.3. Ensayos Marshall .....	171
C.4. Ensayo de cántabro MTC E 515 .....	197
C.5. Desempeño rueda de Hamburgo (convencional) .....	198
C.6. Desempeño rueda de Hamburgo (modificada) .....	200
<b>Anexo D</b>	
Certificado de calibración .....	202
D.1. Equipo de laboratorio TDM asfaltos .....	202
D.2. Equipo de laboratorio ingeotecon .....	203

# Índice de figuras

Figura 1	Tendencia de la demanda mundial de caucho para la fabricación de llantas y de generación de desperdicios de caucho proveniente de LLFU en la UE. . . . .	2
Figura 2	Estado actual de pavimentos del Perú hasta el año 2021. . . . .	4
Figura 3	Estadísticas de importación de suministro de neumáticos del año 2019. . . . .	5
Figura 4	Problemas frecuentes que presentan los pavimentos con diseño convencional. .	6
Figura 5	Materiales que generan contaminación ambiental. . . . .	7
Figura 6	Empleo de polímeros reciclables para diseño de mezclas asfálticas. . . . .	9
Figura 7	Polímeros reciclables para el diseño de mezcla asfáltica modificada. . . . .	9
Figura 8	Proceso de obtención del tereftalato de polietileno (PET). . . . .	25
Figura 9	Composición y consumo petrolífero de neumáticos . . . . .	27
Figura 10	Esquema del ensayo Marshall . . . . .	29
Figura 11	Gráficos Marshall. . . . .	30
Figura 12	Dimensiones de moldes de doble núcleo de polietileno de alta densidad . . . .	36
Figura 13	Gráfica de profundidad de rodera. . . . .	36
Figura 14	Gráfico demostrativo sobre la deformación permanente. . . . .	37
Figura 15	Briqueta Marshall para mezcla asfáltica en caliente. . . . .	40
Figura 16	Diagrama de la metodología utilizada en la investigación. . . . .	48
Figura 17	Ubicación de la cantera Allccomachay. . . . .	49
Figura 18	Producción de agregados en la cantera Allccomachay. . . . .	50
Figura 19	Proceso de fabricación del pet molido. . . . .	53
Figura 20	Producto final del PET molido. . . . .	54
Figura 21	Diagrama de fabricación del GNM molido. . . . .	55
Figura 22	Proceso ilustrativo de obtención de GNM molido. . . . .	56
Figura 23	Producto final del GNM molido. . . . .	56
Figura 24	Ficha técnica del PET. . . . .	57
Figura 25	Curva granulométrica de la piedra chancada . . . . .	62
Figura 26	Curva granulométrica de la arena chancada. . . . .	63
Figura 27	Curva granulométrica de la arena chancada. . . . .	64
Figura 28	Gradación de agregados para el huso MAC-2. . . . .	66
Figura 29	Diseño convencional con agregados pétreos y cemento asfáltico . . . . .	67
Figura 30	Recojo de agregados en cantera. a) piedra chancada, b) arena chancada, arena zarandeada. . . . .	67
Figura 31	Tamizado de agregados en laboratorio. . . . .	68

Figura 32	Secado de materiales. . . . .	68
Figura 33	Pastones para diseño convencional. . . . .	70
Figura 34	Carta viscosidad - temperatura C.A PEN 120/150. . . . .	71
Figura 35	Mezclado y compactación . . . . .	71
Figura 36	Mezclado y compactación . . . . .	71
Figura 37	Mezclado y compactación . . . . .	72
Figura 38	Extracción y medida de altura de las briquetas convencionales. . . . .	72
Figura 39	a)Peso de briqueta al aire en condición seca, b) Peso de briqueta saturada superficialmente seca, c) Peso de briqueta sumergida en agua. . . . .	73
Figura 40	Ensayo Marshall de diseño convencional . . . . .	74
Figura 41	Ensayo Marshall de diseño convencional . . . . .	74
Figura 42	Curva granulométrica del PET. . . . .	75
Figura 43	Curva granulométrica de GNM. . . . .	76
Figura 44	Gradación para el diseño modificado con adición de polímeros reciclables para el huso MAC-2. . . . .	77
Figura 45	Pastones con adición de polímeros = 0.5% . . . . .	80
Figura 46	Briquetas compactadas para polímeros reciclables = 0.5% . . . . .	80
Figura 47	Pastones con adición de polímeros = 1.0% . . . . .	82
Figura 48	Briquetas compactadas para polímeros reciclables = 1.0% . . . . .	82
Figura 49	Pastones con adición de polímeros = 1.5% . . . . .	84
Figura 50	Briquetas compactadas para polímeros reciclables = 1.5% . . . . .	85
Figura 51	Pastones con adición de polímeros = 2.0% . . . . .	87
Figura 52	Briquetas compactadas para polímeros reciclables = 2.0% . . . . .	87
Figura 53	Briquetas totales compactadas con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% . . . . .	87
Figura 54	Briquetas convencionales para ensayo de cántabro. . . . .	88
Figura 55	Prueba de desgaste en la máquina de los ángeles. . . . .	89
Figura 56	Briquetas modificadas para ensayo de cántabro. . . . .	90
Figura 57	Prueba de desgaste en la máquina de los ángeles. . . . .	90
Figura 58	Recepción de materiales en el laboratorio TDM asfaltos. . . . .	91
Figura 59	Peso de agregados y polímeros reciclables. . . . .	92
Figura 60	Preparación de mezcla asfáltica en caliente. . . . .	92
Figura 61	Mezcla asfáltica suelta para el ensayo RICE . . . . .	93
Figura 62	Ensayo para el cálculo del peso específico RICE (Gmm). . . . .	93
Figura 63	Elaboración de briquetas en el compactador giratorio superpave. . . . .	94
Figura 64	Briquetas compactadas convencionales y modificadas para el ensayo de rueda de Hamburgo. . . . .	94
Figura 65	Preparación de moldes para el ensayo rueda de Hamburgo. . . . .	95
Figura 66	Ensayo de rueda de Hamburgo. . . . .	95

Figura 67	Gráficas de los vacíos. . . . .	109
Figura 68	Gráficas de la estabilidad. . . . .	109
Figura 69	Gráficas del flujo. . . . .	109
Figura 70	Gráficas del peso específico. . . . .	110
Figura 71	Gráfica de vacíos del agregado mineral. . . . .	110
Figura 72	Gráfica de VFA. . . . .	111
Figura 73	Resultado de vacíos para diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% . . . . .	120
Figura 74	Resultado final de vacío =4.23% para diseño modificado con polímero reciclable = 1.5% (PET=62.5%+GNM=37.5%. . . . .	120
Figura 75	Resultado de flujo Marshall para diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%. . . . .	121
Figura 76	Resultado final del flujo = 3.88 mm para diseño modificado con polímero reciclable = 1.5% (PET=62.5%+GNM=37.5% . . . . .	121
Figura 77	Resultado de la estabilidad Marshall para diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% . . . . .	122
Figura 78	Resultado final de la estabilidad = 1153 kg para diseño modificado con polímero reciclable = 1.5% (PET=62.5%+GNM=37.5% . . . . .	122
Figura 79	Resultados de los especímenes de doble núcleo al finalizar el ensayo. . . . .	125
Figura 80	Gráficas números pasadas vs la profundidad del diseño de mezcla asfáltica convencional y modificada. . . . .	125
Figura 81	Carpeta asfáltica de 1m2 . . . . .	126
Figura 82	Cotización de agregados. . . . .	128
Figura 83	Cotización de granos de neumático molido. . . . .	129
Figura 84	Cotización de pet. . . . .	129
Figura 85	Cotización del cemento asfáltico PEN 120/150. . . . .	130
Figura 86	Cotización del combustible diesel. . . . .	131
Figura 87	Cotización insumos para el cálculo de hora máquina. . . . .	131
Figura 88	Comparación de costos unitarios por m2. . . . .	148
Figura 89	Comparación de ahuellamiento de diseño con (PET) VS (PET+GNM) . . . . .	148
Figura 90	Cantidades de polímeros reciclables en la construcción de 1 m2 de pavimento flexible. . . . .	149
Figura 91	Actores del régimen especial de gestión y manejo de los neumáticos fuera de uso-NFU. . . . .	150
Figura 92	Neumáticos fuera de uso en la provincia de Huanta. . . . .	151
Figura 93	Cantidades de neumáticos fuera de uso recolectados durante el periodo 2021-2022.	

Figura A.1	Reporte de análisis de cemento asfáltico 120/150 (repsol) . . . . .	159
Figura B.2	Resultado de ensayos de agregados gruesos y finos de la cantera Allccomachay. 160	
Figura C.3	Gmb para diseño convencional = 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% Y 7.0% . . . . .	161
Figura C.4	Gmb para diseño modificado con polímeros reciclables =0.5%. . . . .	162
Figura C.5	Gmb para diseño modificado con polímeros reciclables =1.0% . . . . .	163
Figura C.6	Gmb para diseño modificado con polímeros reciclables =1.5%. . . . .	164
Figura C.7	Gmb para diseño modificado con polímeros reciclables =2.0%. . . . .	165
Figura C.8	Gmm para diseño convencional = 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, y 7.0%,. . . . .	166
Figura C.9	Gmm para diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%. . . . .	167
Figura C.10	Gmm para diseño modificado con polímeros reciclables = 1.0%. . . . .	168
Figura C.11	Gmm para diseño modificado con polímeros reciclables = 1.5%. . . . .	169
Figura C.12	Gmm para diseño modificado con polímeros reciclables = 2.0%. . . . .	170
Figura C.13	Diseño Marshall convencional con C.A = 5.0%. . . . .	171
Figura C.14	Diseño Marshall convencional con C.A = 5.5%. . . . .	172
Figura C.15	Diseño Marshall convencional con C.A = 6.0%. . . . .	173
Figura C.16	Diseño Marshall convencional con C.A = 6.5%. . . . .	174
Figura C.17	Diseño Marshall convencional con C.A = 7.0%. . . . .	175
Figura C.18	Reporte de gráficas de diseño convencional óptimo. . . . .	176
Figura C.19	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5% (PET=30%+GNM=70%). . . . .	177
Figura C.20	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5% (PET=40%+GNM=60%). . . . .	178
Figura C.21	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5% (PET=50%+GNM=50%). . . . .	179
Figura C.22	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5% (PET=60%+GNM=40%). . . . .	180
Figura C.23	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5% (PET=70%+GNM=30%). . . . .	181
Figura C.24	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.0% (PET=30%+GNM=70%). . . . .	182
Figura C.25	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.0% (PET=40%+GNM=60%). . . . .	183
Figura C.26	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.0% (PET=50%+GNM=50%). . . . .	184

Figura C.27	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.0% (PET=60%+GNM=40%).....	185
Figura C.28	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.0% (PET=70%+GNM=30%).....	186
Figura C.29	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5% (PET=30%+GNM=70%).....	187
Figura C.30	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5% (PET=40%+GNM=60%).....	188
Figura C.31	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5% (PET=50%+GNM=50%).....	189
Figura C.32	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5% (PET=60%+GNM=40%).....	190
Figura C.33	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5% (PET=70%+GNM=30%).....	191
Figura C.34	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 2.0% (PET=30%+GNM=70%).....	192
Figura C.35	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 2.0% (PET=40%+GNM=60%).....	193
Figura C.36	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 2.0% (PET=50%+GNM=50%).....	194
Figura C.37	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 2.0% (PET=60%+GNM=40%).....	195
Figura C.38	Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 2.0% (PET=70%+GNM=30%).....	196
Figura C.39	Ensayo de cántabro para diseño de mezcla asfáltica convencional y modificada. 197	
Figura C.40	Rueda cargada de Hamburgo en un diseño convencional .....	198
Figura C.41	Resultados de briquetas de doble núcleo con rueda cargada de Hamburgo en un diseño convencional .....	199
Figura C.42	Rueda cargada de Hamburgo en un diseño modificado.....	200
Figura C.43	Resultados de briquetas de doble núcleo con rueda cargada de Hamburgo en un diseño modificado.....	201
Figura D.44	Calibración del equipo compactador giratorio y rueda de Hamburgo .....	202
Figura D.45	Equipo multiusos para ensayos a compresión.....	203
Figura D.46	Equipo de masa y balanzas.....	204

# Índice de tablas

Tabla 1	<i>Situación de las carreteras pavimentadas y no pavimentadas desde el año 1990 al 2021 de Perú.</i>	4
Tabla 2	<i>Importación de vehículos nuevos del año 2019</i>	6
Tabla 3	<i>Requerimientos para los agregados gruesos.</i>	15
Tabla 4	<i>Requerimientos para los agregados finos.</i>	20
Tabla 5	<i>Propiedades y datos técnicos del PET.</i>	24
Tabla 6	<i>Composición de los componentes del caucho molido (GNM)</i>	26
Tabla 7	<i>Requisitos para mezclas asfálticas en caliente</i>	30
Tabla 8	<i>Variables e indicadores.</i>	41
Tabla 9	<i>Operacionalización de variables independientes y dependientes.</i>	42
Tabla 10	<i>Formato para ensayo de peso específico rice (Gmm).</i>	44
Tabla 11	<i>Formato para ensayo de gravedad específica de mezcla compactada (Gmb).</i>	44
Tabla 12	<i>Formato de diseño Marshall MTC E 504.</i>	45
Tabla 13	<i>Formato de ensayo de Cántabro MTC E 515.</i>	45
Tabla 14	<i>Formato de ensayo rueda de Hamburgo AASHTO T 324.</i>	46
Tabla 15	<i>Características de la cantera Allccomachay.</i>	50
Tabla 16	<i>Requerimientos para los agregados gruesos.</i>	51
Tabla 17	<i>Reporte de resultados del agregado grueso.</i>	51
Tabla 18	<i>Requerimientos para los agregados finos.</i>	52
Tabla 19	<i>Reporte de resultados del agregado fino.</i>	52
Tabla 20	<i>Propiedades técnicas de tereftalato de polietileno (PET).</i>	58
Tabla 21	<i>Ficha técnica de granulado de neumáticos usados</i>	59
Tabla 22	<i>Propiedades físicas y químicas de granos de neumático molido (GNM)</i>	60
Tabla 23	<i>Propiedades del cemento asfáltico PEN 120/150 (Repsol).</i>	61
Tabla 24	<i>Granulometría de la piedra chancada</i>	62
Tabla 25	<i>Granulometría de la arena chancada</i>	63
Tabla 26	<i>Granulometría de la arena zarandeada</i>	64
Tabla 27	<i>Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).</i>	65
Tabla 28	<i>Combinación teórico de diseño de asfalto concencional MAC-2.</i>	66
Tabla 29	<i>Tamiz usado en los agregados.</i>	67
Tabla 30	<i>Pastón C.A = 5.0% (DC-1, DC-2, DC-3)</i>	69
Tabla 31	<i>Pastón C.A = 5.5% (DC-4, DC-5, DC-6)</i>	69
Tabla 32	<i>Pastón C.A = 6.0% (DC-7, DC-8, DC-9)</i>	69

Tabla 33	<i>Pastón C.A = 6.5% (DC-10, DC-11, DC-12)</i> .....	70
Tabla 34	<i>Pastón C.A = 7.0% (DC-13, DC-14, DC-15)</i> .....	70
Tabla 35	<i>Alturas de briquetas convencionales</i> .....	73
Tabla 36	<i>Granulometría del tereftalato de polietileno (PET)</i> .....	75
Tabla 37	<i>Granulometría de granos de neumático molido (GNM)</i> . ....	76
Tabla 38	<i>Combinación teórico de diseño de asfalto modificada MAC-2</i> . ....	77
Tabla 39	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=30% + GNM=70%)</i> 78	
Tabla 40	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=40% + GNM=60%)</i> 79	
Tabla 41	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=50% + GNM=50%)</i> 79	
Tabla 42	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=60% + GNM=40%)</i> 79	
Tabla 43	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=70% + GNM=30%)</i> 79	
Tabla 44	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=30% + GNM=70%)</i> 81	
Tabla 45	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=40% + GNM=60%)</i> 81	
Tabla 46	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=50% + GNM=50%)</i> 81	
Tabla 47	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=60% + GNM=40%)</i> 81	
Tabla 48	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=70% + GNM=30%)</i> 82	
Tabla 49	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=30% + GNM=70%)</i> 83	
Tabla 50	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=40% + GNM=60%)</i> 83	
Tabla 51	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=50% + GNM=50%)</i> 83	
Tabla 52	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=60% + GNM=40%)</i> 84	
Tabla 53	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=70% + GNM=30%)</i> 84	

Tabla 54	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=30% + GNM=70%)</i>	
		85
Tabla 55	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=40% + GNM=60%)</i>	
		86
Tabla 56	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=50% + GNM=50%)</i>	
		86
Tabla 57	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=60% + GNM=40%)</i>	
		86
Tabla 58	<i>Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=70% + GNM=30%)</i>	
		86
Tabla 59	<i>Pastón C.A = 6.18% para diseño convencional</i>	88
Tabla 60	<i>Pastón C.A = 6.18%, polímeros reciclables =1.50% para diseño modificado</i>	89
Tabla 61	<i>Pastón C.A = 6.18% para diseño rueda de Hamburgo convencional</i>	91
Tabla 62	<i>Pastón C.A = 6.18%, polímeros reciclables =1.50% para rueda de Hamburgo diseño modificado</i>	91
Tabla 63	<i>Densidad teórica máxima para diseño modificado (Gmm)</i>	93
Tabla 64	<i>Densidad teórica máxima para diseño convencional (Gmm)</i>	94
Tabla 65	<i>Normalidad para la estabilidad Marshall</i>	97
Tabla 66	<i>Prueba de homogeneidad de varianzas</i>	98
Tabla 67	<i>ANOVA de un factor para la estabilidad Marshall</i>	98
Tabla 68	<i>Prueba post hoc de la estabilidad Marshall</i>	99
Tabla 69	<i>Normalidad para el flujo Marshall</i>	99
Tabla 70	<i>Prueba de homogeneidad de varianzas</i>	100
Tabla 71	<i>ANOVA de un factor para el flujo Marshall</i>	101
Tabla 72	<i>Pruebas robustas de igualdad de medias para el flujo marshall</i>	101
Tabla 73	<i>Prueba post hoc del flujo Marshall</i>	102
Tabla 74	<i>Normalidad para el ensayo de cántabro del desgaste de briquetas</i>	103
Tabla 75	<i>Prueba T-Student para desgaste de briquetas por ensayo de cántabro</i>	104
Tabla 76	<i>Resultado del ensayo de rueda cargada de Hamburgo para ambos diseños</i>	104
Tabla 77	<i>Requisitos para mezclas asfálticas en caliente</i>	106
Tabla 78	<i>Vacíos mínimos del agregado mineral VMA (%)</i>	106
Tabla 79	<i>Vacíos llenos de asfalto VFA (%)</i>	106
Tabla 80	<i>Resultado de diseño para un C.A=5.0%</i>	107
Tabla 81	<i>Resultado de diseño para un C.A=5.5%</i>	107
Tabla 82	<i>Resultado de diseño para un C.A=6.0%</i>	107
Tabla 83	<i>Resultado de diseño para un C.A=6.5%</i>	108
Tabla 84	<i>Resultado de diseño para un C.A=7.0%</i>	108
Tabla 85	<i>Resultado final de diseño mezcla asfáltica convencional</i>	111

Tabla 86	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 0.5% (PET=30%+GNM=70%)</i> .....	112
Tabla 87	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 0.5% (PET=40%+GNM=60%)</i> .....	112
Tabla 88	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 0.5% (PET=50%+GNM=50%)</i> .....	113
Tabla 89	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 0.5% (PET=60%+GNM=40%)</i> .....	113
Tabla 90	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 0.5% (PET=70%+GNM=30%)</i> .....	113
Tabla 91	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.0% (PET=30%+GNM=70%)</i> .....	114
Tabla 92	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.0% (PET=40%+GNM=60%)</i> .....	114
Tabla 93	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.0% (PET=50%+GNM=50%)</i> .....	114
Tabla 94	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.0% (PET=60%+GNM=40%)</i> .....	115
Tabla 95	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.0% (PET=70%+GNM=30%)</i> .....	115
Tabla 96	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.5% (PET=30%+GNM=70%)</i> .....	116
Tabla 97	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.5% (PET=40%+GNM=60%)</i> .....	116
Tabla 98	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.5% (PET=50%+GNM=50%)</i> .....	116
Tabla 99	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.5% (PET=60%+GNM=40%)</i> .....	117
Tabla 100	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.5% (PET=70%+GNM=30%)</i> .....	117
Tabla 101	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 2.0% (PET=30%+GNM=70%)</i> .....	118
Tabla 102	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 2.0% (PET=40%+GNM=60%)</i> .....	118
Tabla 103	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 2.0% (PET=50%+GNM=50%)</i> .....	118

Tabla 104	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 2.0% (PET=60%+GNM=40%)</i> . . . . .	119
Tabla 105	<i>Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 2.0% (PET=70%+GNM=30%)</i> . . . . .	119
Tabla 106	<i>Resultado final de diseño mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables.</i>	123
Tabla 107	<i>Resultado de desgaste de diseño convencional.</i> . . . . .	124
Tabla 108	<i>Resultado de desgaste de diseño modificado con polímeros reciclables</i> . . . . .	124
Tabla 109	<i>Resultado de rueda de Hamburgo.</i> . . . . .	125
Tabla 110	<i>Tabla salarial de construcción civil periodo 2021-2022.</i> . . . . .	132
Tabla 111	<i>Costo horario de posesión cargador frontal.</i> . . . . .	133
Tabla 112	<i>Costo horario de operación de cargador frontal.</i> . . . . .	134
Tabla 113	<i>Costo horario de posesión de grupo electrógeno.</i> . . . . .	135
Tabla 114	<i>Costo horario de operación de grupo electrógeno.</i> . . . . .	136
Tabla 115	<i>Costo horario de posesión de planta asfáltica.</i> . . . . .	137
Tabla 116	<i>Costo horario de operación de planta asfáltica.</i> . . . . .	138
Tabla 117	<i>Costo horario de posesión de volquete de 15m3.</i> . . . . .	139
Tabla 118	<i>Costo horario de operación de volquete de 15m3.</i> . . . . .	140
Tabla 119	<i>Costo horario de posesión de rodillo neumático.</i> . . . . .	141
Tabla 120	<i>Costo horario de operación de rodillo neumático.</i> . . . . .	142
Tabla 121	<i>Costo horario de posesión de rodillo tandem.</i> . . . . .	143
Tabla 122	<i>Costo horario de operación de rodillo tandem.</i> . . . . .	144
Tabla 123	<i>Costo horario de posesión de pavimentadora.</i> . . . . .	145
Tabla 124	<i>Costo horario de operación de pavimentadora.</i> . . . . .	146
Tabla 125	<i>Análisis de costo unitario de carpeta asfáltica en caliente convencional.</i> . . . .	147
Tabla 126	<i>Análisis de costo unitario de carpeta asfáltica en caliente modificada.</i> . . . . .	147

# Glosarios

**Ahuellamiento** Es producto de la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes en el pavimento flexible.

**Caucho** Es una sustancia elástica, impermeable y resistente utilizada en la construcción de neumáticos.

**Cemento asfáltico** Es el ligante asfáltico que se usa en la construcción de pavimentos flexibles y tiene un comportamiento elástico y plástica simultáneamente y proviene como uno de los derivados del petróleo.

**Desgaste** Se entiende por el término desgaste como un fenómeno físico que conduce a una pérdida o deformación del material debido a un agente externo.

**Diseño Marshall** Metodología por el cual se realizan diseños de mezclas asfálticas en caliente y se miden la estabilidad y la fluencia Marshall.

**Neumático** Es una cubierta de caucho o goma junto con otros agregados como el acero, óxido de zinc, textil, azufre, aditivos entre otros con el fin de soportar altas temperaturas y gran fricción con el pavimento

**Polímeros reciclables** Son materiales que se rehúsan luego de haberle dado uso. Hay una variedad de materiales reciclables como el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo, polietileno de alta y baja densidad, etc.

**Reciclaje** El reciclaje es un proceso por el cual se convierten residuos en productos nuevos o en materia prima para su posterior uso.

## Lista de acrónimos

<b>AAP</b>	: Asociación automotriz del Perú
<b>AASHTO</b>	: American association of state highway and transportation
<b>API</b>	: American petroleum institute
<b>CA</b>	: Cemento asfáltico
<b>CGS</b>	: Compactador giratorio superpave
<b>GCR</b>	: Granos de caucho reciclado
<b>GNM</b>	: Granos de neumático molido
<b>IBM</b>	: International Business Machines
<b>INEI</b>	: Instituto nacional de estadística e informática
<b>LLFU</b>	: Llantas fuera de uso
<b>MSNM</b>	: Metros sobre el nivel del mar
<b>MTC</b>	: Ministerio de transportes y comunicaciones
<b>PET</b>	: Tereftalato de polietileno
<b>REP</b>	: Responsabilidad extendida al productor
<b>RICE</b>	: Peso específico máxima teórico
<b>SBR</b>	: Caucho estireno butadieno
<b>SBS</b>	: Estireno butadieno estireno
<b>SPSS</b>	: Statistical Package for the Social Sciences
<b>UE</b>	: Unión europea
<b>UNSCH</b>	: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
<b>VAM</b>	: Vacíos del agregado mineral
<b>VFA</b>	: Vacíos llenos de asfalto

# Símbolos

$P_{ba}$	Absorción del asfalto [%]
$G_{sb}$	Gravedad específica bulk del agregado [ $g/cm^3$ ]
$G_{se}$	Gravedad específica efectiva del agregado [ $g/cm^3$ ]
$h$	Altura de briqueta compactada [mm]
$P_{be}$	Asfalto efectivo de la mezcla compactada [%]
$G_{mb}$	Gravedad específica bulk de la mezcla compactada [ $g/cm^3$ ]
$P_b$	Cemento asfáltico en peso de la mezcla
$P_s$	Contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla [%]
$P_{mm}$	Porcentaje total de la mezcla suelta [%]
$\gamma_w$	Peso específico del agua [ $g/cm^3$ ]
$G_b$	Peso específico del cemento asfáltico [ $g/cm^3$ ]
$G_{mm}$	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (sin vacíos de aire) [ $g/cm^3$ ]
$V_a$	Vacíos de aire en la mezcla compactada [%]

# Capítulo I

## Planteamiento del problema

---

### 1.1 Descripción del problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

##### 1.1.1.1 Descripción del problema mundial

El diseño de mezclas asfálticas en caliente ha sido un problema frecuente a nivel mundial, para lo cual se han realizado diferentes estudios e investigaciones con el objetivo de mejorar sus propiedades. Otro problemática de los pavimentos viene a ser la durabilidad y seguridad que deben presentar los pavimentos flexibles, para lo cual se buscan otras alternativas y componentes para mejorar el diseño de mezclas asfálticas.

Como en toda construcción de pavimentos, los problemas estructurales pueden presentarse cuando menos se esperan. Las causas pueden ser muchas, desde la calidad de los materiales, los procesos constructivos y las condiciones climáticas, hasta los cálculos estructurales y las variables utilizadas para determinar las características geométricas de la estructura del pavimento.(León, 2011)

En los diferentes tipos de pavimentos las fallas son comunes, sobre todo cuando la vida útil de la estructura va finalizando, esto sobre todo por la acción del agua de precipitaciones sobre la superficie, de fluidos aportados por las personas, el tránsito diario (vehículos ligeros y pesados) y los fenómenos naturales, como los sismos. (León, 2011)

En el mundo hay aproximadamente 800 millones de vehículos comerciales en uso y cerca de 70 millones de unidades se añaden a ese número cada año. Además en el 2014 se estimó que el consumo mundial de esta materia prima fue de 28,9 millones de toneladas, aumentando en

un 0,7% en el 2015.(Pelaéz, Velásquez & Giraldo, 2015)

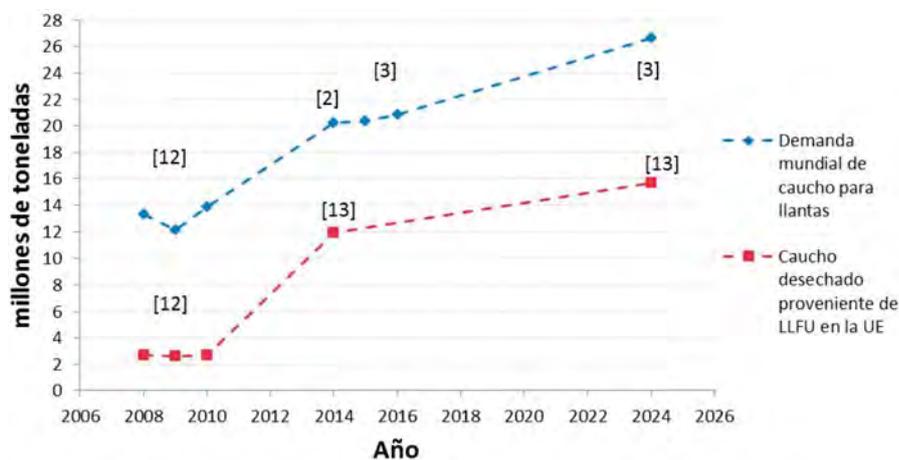
Por otro lado, Lacamarca (2014) nos ofrece un dato relevante, el cual evidencia que “se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos carriles. Cifras tan elevadas colocan el pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso.

En 2018, el último año del cual se cuenta con estadísticas consolidadas sobre el mercado del caucho, la producción mundial de esta materia prima fue de 29,140 millones de toneladas. (Board, 2019)

Se estima que en 2015 la demanda mundial de caucho aumentó un 0,7 % respecto a 2014 y que entre 2016 y 2024 el consumo aumentará un 3,1 % anualmente en promedio. Considerando que entre el 65 y el 70 % del caucho producido en el mundo es utilizado para la fabricación de llantas. (Pelaéz et al., 2015)

Debe tenerse en cuenta que cada año se generan aproximadamente 17 millones de toneladas de llantas fuera de uso (NFU). Dado que el total de caucho en una llanta corresponde más o menos el 41 y el 55 % de su peso, se tiene que entre 7 y 9 millones de toneladas de caucho provenientes de NFU se disponen cada año a nivel mundial. (Pelaéz et al., 2015)

Como se muestra en la figura 1 la tendencia de aumento de la demanda mundial de caucho para la fabricación de llantas y la de generación de desperdicios de caucho proveniente de LLFU en la Unión Europea (UE).(Pelaéz et al., 2015)



**Figura 1** Tendencia de la demanda mundial de caucho para la fabricación de llantas y de generación de desperdicios de caucho proveniente de LLFU en la UE.

Fuente: Obtenido de (Pelaéz, Velásquez & Giraldo, 2015).

“La problemática asociada a la disposición del caucho posconsumo y posproceso hizo que los gobiernos comenzaran a implementar de manera cada vez más decidida la formulación e implementación de regulaciones orientadas a disminuir la contaminación generada por estos residuos.” (Pelaéz et al., 2015)

A. G. Martín (2015) menciona que una de las aplicaciones del caucho es funcionar como componente de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que disminuye la extracción de áridos en canteras. Asimismo, le confieren características especiales, ya que puede ser utilizado como caucho en la capa de rodadura, para que ayude a obtener una mayor media de vida, más elasticidad, menos deformaciones, mayor resistencia al agrietamiento, mayor resistencia al arrastramiento.

De la misma manera A. G. Martín (2015) afirma que el parque automovilístico mundial alcanzará los 1200 millones de vehículos en 2020, son necesarios 10 siglos para que un neumático se degrade y desaparezca de la naturaleza.

#### **1.1.1.2 Descripción del problema nacional**

Uno de los problemas más comunes en la falla de los pavimentos en Perú es que cuenta con diferentes zonas geográficas (costa, sierra y la selva), climas y fenómenos naturales que se presentan como los sismos, lluvias, altas temperaturas, heladas, etc. Debido a estos acontecimientos el pavimento sufre problemas como agrietamiento en forma de cocodrilo, grietas en los bordes, deformaciones permanentes (ahuellamientos), levantamientos, baches, etc. Lo que se pretende con la investigación es disminuir estos efectos negativos al pavimento usando materiales reciclables.

En la siguiente tabla 1. se muestra en que condición se encuentran la totalidad de las carreteras de Perú. En la tabla se presenta cuantos kilómetros se encuentran pavimentadas y no pavimentadas de la red vial nacional, departamental y vecinal hasta el mes de julio del año 2021.

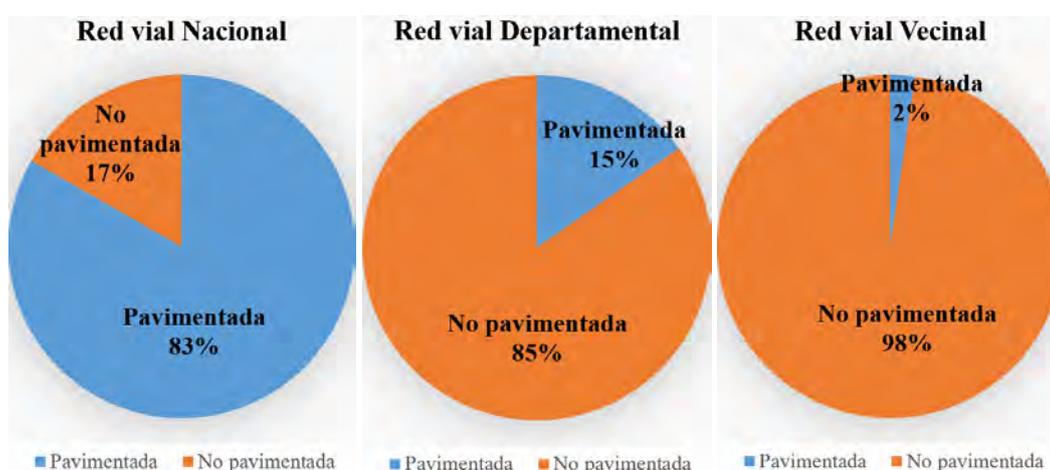
**Tabla 1** Situación de las carreteras pavimentadas y no pavimentadas desde el año 1990 al 2021 de Perú

LONGITUD DE LA RED VIAL EXISTE DEL SISTEMA NACIONAL DE CARRETERA, SEGÚN TIPO DE SUPERFICIE POR AÑOS, 1990-2021

Año	Clasificador de Rutas (Decreto Supremo)	Total SINAC	PAVIMENTADA (KM)				NO PAVIMENTADA (KM)			
			Nacional	Departamental	Vecinal	Sub total	Nacional	Departamental	Vecinal	Sub total
1990	D.S. N° 062-85-TC	69 942	5 740	1 058	766	7 564	9 952	13 386	39 040	62 378
1991	D.S. N° 062-85-TC	69 942	5 635	1 058	766	7 459	10 057	13 386	39 040	62 483
1992	D.S. N° 062-85-TC	69 942	5 800	1 058	766	7 624	9 892	13 386	39 040	62 318
1993	D.S. N° 062-85-TC	69 942	5 800	1 058	766	7 624	9 892	13 386	39 040	62 318
1994	D.S. N° 062-85-TC	69 942	5 800	1 058	766	7 624	9 892	13 386	39 040	62 318
1995	D.S. N° 09-95-MTC	73 439	6 477	1 089	790	8 356	10 042	13 242	41 799	65 083
1996	D.S. N° 09-95-MTC	73 766	6 761	1 013	790	8 564	9 903	13 300	41 999	65 202
1997	D.S. N° 09-95-MTC	75 807	7 130	989	874	8 993	9 615	13 441	43 758	66 814
1998	D.S. N° 09-95-MTC	78 112	8 140	1 106	942	10 188	8 812	13 145	45 967	67 924
1999	D.S. N° 09-95-MTC	78 127	8 141	1 106	942	10 189	8 826	13 145	45 967	67 938
2000	D.S. N° 09-95-MTC	78 213	8 522	1 106	945	10 573	8 531	13 145	45 964	67 640
2001	D.S. N° 09-95-MTC	78 251	8 693	1 106	947	10 745	8 399	13 145	45 962	67 506
2002	D.S. N° 09-95-MTC	78 319	8 989	1 105	950	11 044	8 169	13 146	45 960	67 275
2003	D.S. N° 09-95-MTC	78 397	7 990	1 106	942	10 038	8 867	13 145	46 347	68 359
2004	D.S. N° 09-95-MTC	78 396	8 521	1 106	942	10 569	8 336	13 145	46 346	67 827
2005	D.S. N° 09-95-MTC	78 506	8 731	1 106	942	10 779	8 126	13 145	46 456	67 728
2006	D.S. N° 09-95-MTC	79 506	8 911	1 106	942	10 959	8 946	13 145	46 456	68 547
2007	D.S. N° 034-2007-MTC	80 325	11 178	1 507	955	13 640	12 660	12 930	41 095	66 685
2008	D.S. N° 044-2008-MTC	81 787	11 370	1 478	790	13 638	12 532	18 217	37 399	68 148
2009	D.S. N° 044-2008-MTC	84 026	11 500	1 622	810	13 932	13 000	22 769	34 325	70 094
2010	D.S. N° 044-2008-MTC	84 245	12 445	1 988	880	15 313	11 151	23 787	33 994	68 932
2011	D.S. N° 036-2011-MTC	129 162	13 640	2 090	1 484	17 214	9 680	23 509	78 760	111 948
2012	D.S. N° 036-2011-MTC	140 672	14 748	2 340	1 611	18 699	9 846	21 895	90 233	121 974
2013	D.S. N° 036-2011-MTC	156 792	15 906	2 518	1 933	20 357	9 100	22 474	104 862	136 435
2014	D.S. N° 012-2013-MTC	165 467	17 411	2 430	1 925	21 766	8 377	22 582	112 741	143 701
2015	D.S. N° 012-2013-MTC	165 372	18 420	3 459	1 890	23 769	8 016	20 828	112 758	141 603
2016	D.S. N° 011-2016-MTC	165 905	19 682	3 696	1 915	25 293	7 001	21 608	112 002	140 612
2017	D.S. N° 011-2016-MTC	166 765	20 368	3 714	1 884	25 966	6 424	23 767	110 608	140 800
2018	D.S. N° 011-2016-MTC	168 473	21 434	3 623	1 859	26 916	5 676	23 882	111 999	141 557
2019	D.S. N° 011-2016-MTC	168 954	22 172	4 261	2 336	28 770	4 881	23 378	111 925	140 184
2020	D.S. N° 011-2016-MTC	168 882	22 217	4 262	2 318	28 797	4 832	23 562	111 691	140 085
2021 (Jul.)	D.S. N° 011-2016-MTC	175,589	22 535	4 262	2 782	29 579	4 511	23 689	117 811	146 010

Fuente: Obtenido del (MTC, 2021)

Se presenta la siguiente figura 2 el porcentaje de carreteras pavimentadas y no pavimentadas en el Perú hasta el año 2021.

**Figura 2** Estado actual de pavimentos del Perú hasta el año 2021.

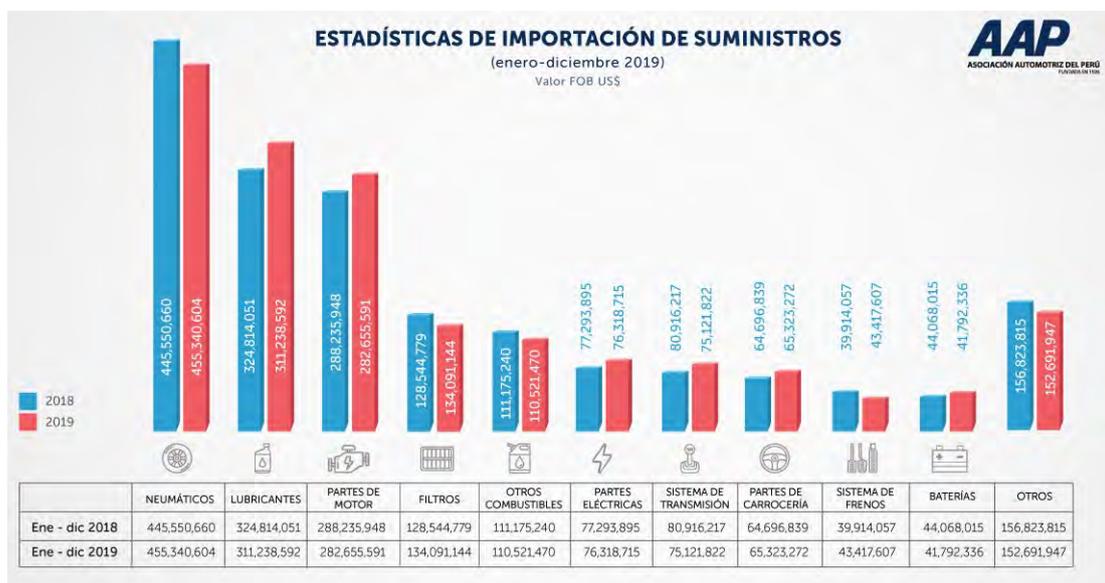
Fuente: Obtenido del (MTC, 2021).

Para dar una solución a estas problemáticas de los pavimentos flexibles en el Perú, se va utilizar los materiales reciclables, en esta investigación se usaran Tereftalato de polietileno

(PET) y Granos de neumático molido (GNM). Se pretende obtener diseño de mezclas asfálticas que mejoren sus propiedades mecánicas y su desempeño, de la misma manera reducir la contaminación ambiental. El reciclado constituye una alternativa de rehabilitación de pavimentos más competitiva y sostenible, puesto que permite minimizar la utilización de recursos no renovables, agregados petreos naturales y asfalto.

En el Perú se desechan diariamente alrededor de 18,000 toneladas de basura, cerca de la mitad se concentra solo en Lima Metropolitana y el Callao. El material reciclable representa más del 25% de nuestros residuos, y el PET en específico comprende entre un 1.23% y 1.87% del total. Esto significa que anualmente se generan en promedio 64,500 toneladas de PET, que se traducen en una industria de más 300 millones de soles, de los cuales el 34% se van literalmente a la basura, ya que jamás serán reutilizados. (Olivera, 2016)

En el siguiente gráfico 3. se muestra la importación anual de neumáticos nuevos al país, que después de su uso será un problema ambiental, pero al incorporar en el diseño de pavimentos se puede reducir su impacto.



**Figura 3** Estadísticas de importación de suministro de neumáticos del año 2019.

Fuente: Obtenido de (App).

En la siguiente tabla 2 vemos que la importación anual de vehículos nuevos al país se acerca al medio millón de vehículos, y esto aumenta la flota vehicular a nivel nacional.

**Tabla 2** Importación de vehículos nuevos del año 2019

<b>Importación de vehículos Nuevos al Perú</b>			
Menores	Livianos	Pesados	Total
256647	149641	15756	422044

Fuente: Obtenido de App

Como vemos el caucho y el PET aumenta cada año y ante esta problemática se plantea reutilizar el material reciclable en el diseño de pavimentos flexibles y mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.

### 1.1.1.3 Descripción del problema regional

El problema de pavimentos convencionales que se tienen en la región Ayacucho, es común como en otros departamentos, que presentan fallas ante la presencia de cargas, humedad, temperatura, etc. Es un problema que se pretende solucionar usando materiales reciclables, ya que con su uso se pretende mejorar sus propiedades mecánicas y su desempeño. En la siguiente figura 4 se muestra como termina un pavimento dañado y con presencia de desgastes, grietas y ahuellamiento.

**(a)** Pavimento dañados.**(b)** Pavimento con ahuellamientos y grietas.**Figura 4** Problemas frecuentes que presentan los pavimentos con diseño convencional.

Fuente: Elaboración propia

Ante esta problemática se plantea realizar un diseño de mezcla asfáltica modificada con adición de *Polímeros reciclables* que se encuentran en los botaderos y en las calles.

La contaminación con plásticos, botellas y neumáticos crece día a día, ya que no se cuenta con un plan de reciclaje y reutilización adecuado, este problema se ve reflejado por la falta de cultura en reciclaje por parte de la población. También se da una contaminación masiva debido al crecimiento poblacional, con el cual hay más demanda en el uso de materiales contaminantes. El mayor problema en el ámbito regional y local, se da en la contaminación indiscriminada de materiales, ya que no se cuentan con normas adecuadas para desarrollar el reciclaje sostenible en el tiempo, que con un tratamiento adecuado se puede volver a rehusar

en el diseño mezclas asfálticas, y de esta manera disminuir con la contaminación ambiental.

En el área regional y local no se presentan investigaciones que propongan estudios acerca de usar materiales reciclables como el tereftalato de polietileno (PET) y grano de neumático molido (GNM), pues usando estos materiales reciclables se pretende elaborar pavimentos flexibles modificados que sean mejores que las convencionales. Con esta investigación se pretende mejorar las propiedades mecánicas, aumentar la durabilidad, disminuir el efecto del ahuellamiento y fatiga ante la presencia de cargas en el pavimento. En la siguiente figura 5, vemos los materiales reciclables.



(a) Neumáticos fuera de uso



(b) Botellas plástico PET fuera de uso.

**Figura 5** Materiales que generan contaminación ambiental.

Fuente: Elaboración propia

## 1.2 Delimitación del problema.

### 1.2.1 Espacial (geográfica)

La investigación propuesta sobre la evaluación de mezclas asfálticas en caliente con incorporación de polímeros reciclables y convencionales se realizará usando la cantera Allcomachay en el provincia de Huanta, región Ayacucho - Perú.

### 1.2.2 Temporal.

La investigación se realizará durante en el transcurso de los meses del año 2021, en este lapso de tiempo se terminará con la elaboración del borrador de tesis.

### 1.2.3 Temática y unidad de análisis.

- La unidad de análisis son las especímenes (briquetas) para diseño de mezclas asfálticas en caliente convencionales y modificadas con polímeros reciclables en diferentes

proporciones.

- La temática se trata acerca de realizar una evaluación del diseño mezclas asfálticas en caliente con o sin adición de polímeros reciclables (PET + GNM) en diferentes dosificaciones y su posterior evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. Al realizar el análisis comparativo de ambos diseños se evalúa la mejora de la carpeta asfáltica modificada respecto a la convencional.

## **1.3 Formulación del problema.**

### **1.3.1 Problema general.**

¿De qué manera influye la adición de polímeros reciclables en la evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente modificadas con respecto a las convencionales usando la cantera Allcomachay en la provincia de Huanta 2020?

### **1.3.2 Problemas específicos.**

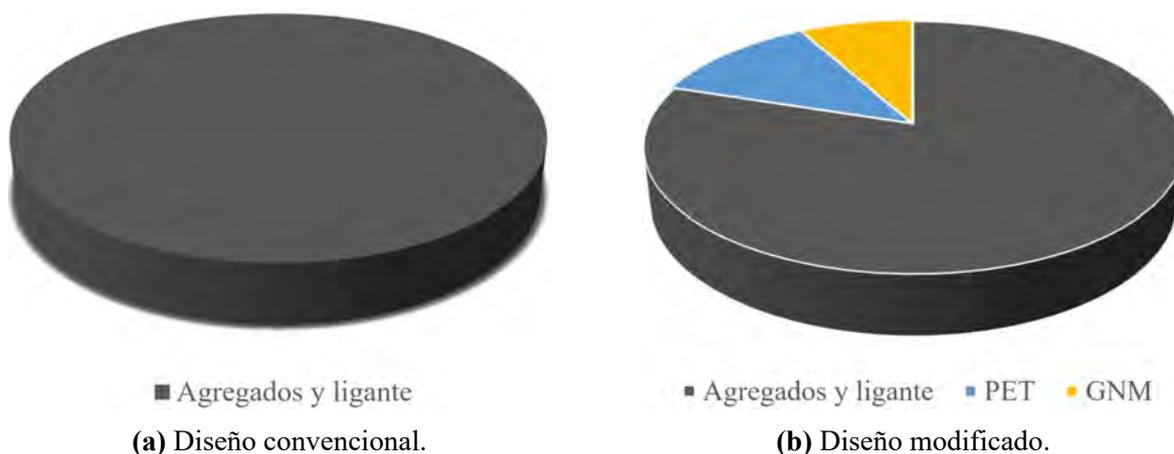
- a) ¿Cómo influye la adición de polímeros reciclables en el valor de la estabilidad y fluencia Marshall de un diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada respecto a las convencionales ?
- b) ¿Cuál es el desgaste al ensayo de cántabro de un mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables con respecto a las convencionales?
- c) ¿Cuál es el efecto del uso de polímeros reciclables en reducir el ahuellamiento de una mezcla asfáltica modificada con respecto a un diseño convencional?

## **1.4 Justificación e importancia.**

### **1.4.1 Justificación**

La justificación y particularidad de la tesis se basa en:

Desarrollar un diseño de mezcla asfáltica en caliente con incorporación de polímeros reciclables (PET + GNM) como un solo componente variando los porcentajes de participación hasta lograr un valor óptimo, es decir no se incorpora los polímeros por separado. Ya que por separado tal como se revisó en la literatura ya se han realizado investigaciones.



**Figura 6** Empleo de polímeros reciclables para diseño de mezclas asfálticas.

Fuente: Elaboración propia

Al realizar esta investigación se está dando solución a los residuos sólidos de difícil eliminación y se está contribuyendo a la conservación del medio ambiente. Al mismo tiempo se produce un material con buen desempeño que redundará en la carpeta asfáltica con ahorros significativos en costos de mantenimiento y conservación.

Desde el punto de vista social, se abre un nuevo sector de producción y generación de empleo, porque va a ver una cadena de recolección de llantas fuera de uso y plásticos PET para producción de mezclas asfálticas eco sostenibles.

## 1.4.2 Importancia

La importancia del presente estudio se basa en la necesidad de diseñar una mezcla asfáltica modificada con adición de polímeros reciclables que sean mejores a las convencionales tanto en la durabilidad y resistencia de la carpeta asfáltica al paso de vehículos o aplicaciones de carga. La investigación será un aporte importante a la ingeniería vial, ya que permitirá mejorar las propiedades mecánicas como el desgaste y ahuellamiento en los pavimentos flexibles.

Para esta investigación se añaden polímeros reciclables como se muestra en la figura 7.



(a) Tereftalato de polietileno molido (PET).



(b) Caucho de neumático molido (GNM).

**Figura 7** Polímeros reciclables para el diseño de mezcla asfáltica modificada.

Fuente: Elaboración propia

## **1.5 Limitaciones de la investigación.**

Entre las principales limitaciones que se tuvo durante el desarrollo del estudio, son las siguientes:

- La presente investigación se limita a probar las mejoras de las propiedades mecánicas de los especímenes (briquetas) con adición de polímeros reciclables, estos ensayos se realizaron en laboratorio privado.
- Una de las limitaciones que se tienen en la investigación es que la adición de los polímeros reciclables (tereftalato de polietileno y granos de neumático molido) sólo se aplicaran por vía seca, ya que hacerlo por vía húmeda se necesitan equipos más sofisticados con las cuales no se dispone.
- Otra de las limitaciones que se tiene es el factor económico y laboratorios especializados que son pocos en el país, por esta razón nos limitamos a realizar solo un ensayo de desempeño de rueda cargada de Hamburgo (deformación permanente no recuperable).

## **1.6 Objetivos.**

### **1.6.1 Objetivo general.**

Evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente modificadas con adición de polímeros reciclables con respecto a las convencionales usando la cantera Allcomachay en la provincia de Huanta 2020.

### **1.6.2 Objetivos específicos.**

- a) Analizar el valor de la estabilidad y fluencia Marshall de un diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada con adición de polímeros reciclables respecto a las convencionales.
- b) Determinar el desgaste de una mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables con respecto a las convencionales mediante el ensayo de cántabro.
- c) Determinar en que medida se reduce el ahuellamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables respecto a un diseño convencional.

# Capítulo II

## Marco teórico.

---

### 2.1 Antecedentes.

#### 2.1.1 Investigaciones internacionales

La revisión bibliográfica hecho por Martinez et al. (2018) en Colombia, sobre el uso del caucho para la aplicación de pavimentos flexibles el estudio tuvo dos etapas en la primera se hizo un análisis exhaustivo de las propiedades mecánicas de las mezclas, según las tipologías de mezclas asfálticas utilizadas en Colombia y en la segunda etapa se analizó el desempeño y comparación con otros tipos de mezclas asfálticas modificadas con polímeros, como resultado de esa investigación se desarrolló una norma técnica que sirve de guía para la elaboración de pavimentos flexibles.

En la tesis desarrollada por Cabrera (2021) ha demostrado que el uso de PET ha mejorado la resistencia a deformación plástica de la mezcla, pese al difícil control de vacíos durante la elaboración de briquetas de mezcla asfáltica compactada. En las mezclas con 4% de PET (13.27% de vacíos) y 6% de PET (15.73% de vacíos) se ve un aumento a la deformación plástica en 46% y 82% respectivamente con relación a la mezcla de control (13.76% de vacíos). De igual manera Cabrera (2021) el resultado obtenido del ensayo de ahuellamiento es consistente con el ensayo de módulo dinámico, en cuanto a que las mezclas con PET reflejan un comportamiento más rígido.

El uso de caucho granulado (CR) proveniente de desechos de neumáticos fuera de uso afectan positivamente las propiedades del asfalto. Se hicieron diseños de mezclas asfálticas con incorporación de diferentes porcentajes de CR y que obtuvieron como resultado el aumento significativo del módulo de rigidez, la formación de surcos de resistencia y el aumento de la resistencia al daño inducido por humedad. El estudio concluye que un incremento entre

el 20% y 24% de CR sobre la mezcla asfáltica convencional produce resultados óptimos. (Eltwati, Hossein & Nasr, 2020).

Según el estudio realizado por Nanjegowda y Biligiri (2020) sobre el efecto de agregar el caucho en forma de fragmentos (migas) que se utilizan popularmente en los carreteras de asfalto. Además, el CR como modificador mejora las propiedades reológicas y mecánicas de las mezclas que podrían prolongar la vida útil de esos sistemas especiales de pavimento y postergar los trabajos de mantenimiento y rehabilitación en comparación con los pavimentos asfálticos convencionales.

### **2.1.2 Investigaciones nacionales**

Los estudios realizados por Corbacho (2018), en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con incorporación de tereftalato de polietileno molido (pet) en diferentes dosificaciones de 0.2%, 0.4%, 0.5%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.5%, 1.7%, 2.0% y 4.0%, dan como resultado después realizar ensayos de laboratorio y análisis de resultados valores óptimos de PET = 1.2%, con este porcentaje de material reciclable se realizan la prueba de rueda de Hamburgo en el cual se consigue el diseño modificado con pet soporta un 24.23% mas las pasadas de la rueda de Hamburgo respecto a la convencional.

Se realiza el estudio de diseño de mezclas asfálticas con incorporación de caucho donde se pudo verificar que el GCR puede funcionar como agregado de las mezclas asfálticas pero con porcentajes igual o menores al 1.5% del total de la mezcla, teniendo en cuenta que a medida que se incorpora GCR disminuyen los valores de estabilidad y aumenta su flujo. Establece un procedimiento de diseño con el uso de un 5% de asfalto, 20% de agregado que pasa la malla 3/4", 35% triturado pasa 1/2", 20% de arena lavada zarandeada, otro 20% en arena triturada y un 1.5 % de GCR, al cumplir con los valores de estabilidad y flujo establecidos por la norma MTC. Se identificó que solo las muestras (briquetas) con el 1.5% y 2.0% de caucho reciclado cumplieron con los valores superiores de 900 kg de estabilidad. El valor de la Resistencia a la compresión de las muestras (briquetas) disminuyen con respecto al incrementarse el porcentaje de GCR. (Alvarez & Carrera, 2017)

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Mezclas asfálticas**

Según Rondón y Reyes (2015), “las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico. Se elaboran en plantas mezcladoras, pero en algunos casos pueden fabricarse in situ.”

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004)

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.(Padilla, 2004)

### **2.2.2 Mezclas asfálticas caliente**

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante asfáltico, agregados pétreos incluyendo el polvo mineral y aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden recubiertas por una película homogénea de ligante asfáltico. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente.(Padilla, 2004)

Se emplean tanto en las vías urbanas como en las autopistas, en las carreteras convencionales y aeropuertos; por otro lado, se utilizan tanto en las capas de rodadura como en las capas inferiores de los firmes. Lógicamente, para tal variedad de aplicaciones existen a su vez, dentro de esta familia de mezclas, subtipos con diferentes características. Se fabrican con betunes, aunque en ocasiones se recurre al empleo de ligantes modificados.(Kraemer et al., 2004)

### **2.2.3 Componentes de las mezclas asfálticas en caliente**

#### **2.2.3.1 Cemento asfático**

El cemento asfático se designa por las letras CA o AC (Asphalt Cement ) y se clasifican por lo general de acuerdo a su consistencia evaluada a través de dos ensayos penetración y viscosidad. Otra forma de clasificación, utilizada principalmente en países desarrollados, se realiza a través del grado de funcionamiento (PG por sus siglas en inglés).(Rondón & Reyes, 2015)

#### **2.2.3.2 Agregados pétreos**

La denominación técnica agregados pétreos en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados, afirmado subbase o base granular. En términos generales, en un ensayo granulometría por tamizado, las partículas con diámetro entre 2 mm y 6.4 cm son reconocidas como gravas. Aquellas con diámetro entre 0.075 mm y 2 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las que son de diámetro inferior a 0.075 mm son reconocidos como tamaño de arcilla.(Rondón & Reyes, 2015)

Dentro de una estructura de pavimento con capa asfáltica, los agregados pétreos más exigentes, en cuanto a durabilidad, textura y resistencia mecánica se refiere, son aquellos que conforman las mezclas asfálticas. En estos últimos materiales los agregados pétreos conforman entre el 88% y el 96% de la masa y más del 75% del volumen. Dentro de las mezclas asfálticas, son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. De la calidad de estos materiales depende en gran medida la evolución de los mecanismo de daño que ocurren en mezclas asfálticas como son el ahuellamiento, la fatiga y el daño por humedad.(Rondón & Reyes, 2015)

### 2.2.3.3 Normativa para ensayos de los agregados gruesos (grava triturada 1/2”)

Para realizar estos ensayos se usa la normativa del Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción R.D.N°22-2013-MTC/2014. que se muestra en la siguiente tabla 3 (MTC, 2013)

**Tabla 3** *Requerimientos para los agregados gruesos.*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m)	
		≤ 3000	> 3000
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión los ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	95	95
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% máx.	35% máx.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: Obtenido del Manual de Carreteras (MTC, 2013)

### 2.2.3.4 Durabilidad (MTC E 209)

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.(MTC, 2016)

Este ensayo es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo se realiza con la finalidad de cuantificar la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la soluciones cubra toda la muestra. Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos. (MTC, 2016)

#### **2.2.3.5 Abrasión de los ángeles (MTC E 207)**

El objetivo es determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de los Ángeles.

Este ensayo es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida. (MTC, 2016)

#### **2.2.3.6 Adherencia (MTC E 517)**

El objetivo es determinar la retención de una película bituminosa en una superficie de agregado en presencia de agua.

Este procedimiento es sugerido como una prueba que califica o no califica al nivel de 95%, porque su precisión no es satisfactoria para la aplicación para niveles menores. No debe hacerse ningún esfuerzo para evaluar la retención de una película por debajo de 95%. Esta es una limitación del método y no implica de alguna manera que la combinación agregado bitumen falle en retener un 95% de recubrimiento por este procedimiento de laboratorio que dará un rendimiento poco satisfactorio en campo. (MTC, 2016)

### 2.2.3.7 Índice de durabilidad (MTC E 214)

El ensayo establece una resistencia de los agregados a generar finos, cuando son agitados en presencia de agua. Procedimientos de ensayo separados y diferentes son usados para evaluar las porciones gruesa y fina del material. Una muestra de agregado grueso es preparada con una gradación específica y luego es lavada en un agitador mecánico durante 2 min. Después de secado y descartado el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la muestra de ensayo lavada es preparada a la gradación final del ensayo. La muestra de agregado grueso es entonces agitada en el vaso mecánico de lavado, por un período de 10 min. El agua de lavado resultante, junto con los finos que pasan el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200), son unidos y mezclados con una solución de cloruro de calcio y depositados en un cilindro plástico. Después de un tiempo de sedimentación de 20 minutos, se lee el nivel de la columna de sedimentación. La altura del valor de sedimentación es usada entonces para calcular el índice de durabilidad del agregado grueso ( $D_c$ ). (MTC, 2016)

$$D_c = 30.3 + 20.8 \cot(0.29 + 0.15H) \quad (2.1)$$

Donde:

$D_c$  : Índice de durabilidad.

$H$  : Altura de sedimentación en mm y la cantidad  $(0.29+0.15H)$  en radianes

### **2.2.3.8 Partículas chatas y alargadas (MTC E 223)**

Las partículas chatas o alargadas pueden interferir con la consolidación y dificultar la colocación de los materiales. Este método provee el medio para verificar si se cumple con las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar la forma característica del agregado grueso. (MTC, 2016)

Mezclar totalmente la muestra y reducir a una cantidad apropiada por cuarteo, la cantidad de agregado no será de un peso predeterminado, sino el resultante del cuarteo.

### **2.2.3.9 Caras fracturadas (MTC E 210)**

Este ensayo abarca la determinación del porcentaje, en masa o cantidad, de una muestra de agregado grueso que contiene partículas fracturadas. Un propósito de tales requerimientos es maximizar el esfuerzo cortante mediante incremento de fricción inter-partícula tanto en las mezclas de agregados sueltos o compactados. Otro propósito es suministrar estabilidad a los tratamientos de superficies de agregados y proporcionar fricción incrementada por la textura para los agregados usados en los pavimentos de superficies granulares. (MTC, 2016)

### **2.2.3.10 Sales solubles totales (MTC E 219)**

Este ensayo permite determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado se toma una alícuota y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes. (MTC, 2016)

### 2.2.3.11 Gravedad específica y absorción de agregados gruesos (MTC E 206)

Este ensayo permite determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción. (MTC, 2016)

Para realizar los cálculos se emplean las siguientes fórmulas:

a) Peso Específico de masa ( $P_{em}$ )

$$P_{em} = \frac{D}{(A - B)} \times 100 \quad (2.2)$$

b) Peso específico de masa saturada con superficie seca ( $P_{esss}$ )

$$P_{esss} = \frac{A}{(A - B)} \times 100 \quad (2.3)$$

c) Peso específico aparente ( $P_{ea}$ )

$$P_{ea} = \frac{D}{(D - B)} \times 100 \quad (2.4)$$

d) Absorción ( $A_b$  (%))

$$A_b (\%) = \frac{(A - D)}{D} \times 100 \quad (2.5)$$

Donde:

$D$  : Peso de la muestra seca en el aire.

$A$  : Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.

$B$  : Peso en el agua de la muestra saturada.

### 2.2.3.12 Normativa para ensayos de los agregados finos

Para realizar estos ensayos se usa la normativa del Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción R.D.N°22-2013-MTC/2014. (MTC, 2013)

**Tabla 4** *Requerimientos para los agregados finos.*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m)	
		≤ 3000	> 3000
Equivalente arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209		18% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 mín.	NP
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: Obtenido del Manual de Carreteras (MTC, 2013).

### 2.2.3.13 Equivalente arena (MTC E 114)

El propósito de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm). El término “equivalente de arena”, expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables. Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, fineza, y carácter del material arcilloso presente en el espécimen de ensayo. (MTC, 2016)

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena; después de un período de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. (Minaya & ordóñez, 2006)

$$SE = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100 \quad (2.6)$$

Donde:

$SE$  : arena equivalente.

#### 2.2.3.14 Angularidad del agregado fino (MTC E 222)

Se define como angularidad del agregado fino el porcentaje de vacíos con aire presente en las partículas menores de 2,36 mm (pasante malla N° 8), levemente compactados. La muestra será la misma de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica.(MTC, 2016)

Determinando el peso del agregado fino ( $w$ ) que llena el cilindro de volumen conocido ( $v$ ), el contenido de vacíos puede calcularse como la diferencia entre el volumen del cilindro y el volumen del agregado fino en el cilindro así:

$$A^\circ = \frac{V - \frac{W}{G_{sb}}}{V} \times 100 \quad (2.7)$$

#### 2.2.3.15 Índice de durabilidad (MTC E 214)

El ensayo establece una resistencia de los agregados a generar finos, cuando son agitados en presencia de agua. Procedimientos de ensayo separados y diferentes son usados para evaluar las porciones gruesa y fina del material. La muestra de agregado fino se prepara lavando una cantidad específica de material en el vaso mecánico de lavado por un período de 2 min. Todo el material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) mediante operación de lavado, es descartado. La porción que no pasa dicho tamiz es secada y tamizada por 20 min. Todos los tamaños del tamizado, incluyendo, aquella fracción recogida en el depósito final, son recombinados. La muestra final de ensayo se prepara a partir de este material lavado, secado y recombinado.(MTC, 2016)

Índice de durabilidad del agregado fino, aproximándolo al entero inmediatamente superior, usando la siguiente ecuación:

$$Df = \frac{\text{Lectura de la arena}}{\text{Lectura de la arcilla}} \times 100 \quad (2.8)$$

### 2.2.3.16 Índice de plasticidad (malla N° 200) (MTC E 111)

Para poder determinar el índice de plasticidad (IP) de un agredo fino se necesitan conocer el límite líquido (L.L) y el límite plástico (LP), para lo cual se usarán las siguientes fórmulas:

Para el límite líquido:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad (2.9)$$

Donde:

$N$  : Número de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad.

$W^n$  : Contenido de humedad del suelo.

Para el límite plástico:

$$LP = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad (2.10)$$

Para el índice de plasticidad:

$$IP = LL - LP \quad (2.11)$$

### 2.2.3.17 Sales solubles totales (MTC E 2019)

Este ensayo permite determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado se toma una alícuota y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes. (MTC, 2016)

## 2.2.4 Mezclas asfálticas modificadas

La tecnología de los asfaltos y de las mezclas asfálticas modificadas han sido ampliamente estudiada y utilizada en el mundo. Con la adición de polímeros u otros productos al asfalto se modifican las propiedades físico-mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio

ambiente. Por lo general las propiedades que se intentan mejorar son la rigidez y la resistencia bajo carga monotónica, al ahuellamiento, a la fatiga y el daño por humedad.(Rondón & Reyes, 2015)

Existen en el mundo dos técnicas de utilización de polímeros o aditivos para modificar las propiedades de mezclas asfálticas. A estas técnicas de modificación se les denomina vía húmeda y seca. Por vía húmeda, el polímero o aditivo es agregado a asfalto a alta temperatura y luego, este ligante ya modificado es adicionado al agregado pétreo para conformar la mezcla asfáltica. Por vía seca, el aditivo reemplaza parte del agregado pétreo (por lo general las fracciones más finas) y se adiciona a este a alta temperatura para luego recibir el asfalto y formar la mezcla asfáltica.(Rondón & Reyes, 2015)

Cuando se modifican asfaltos se mejoran algunas de las propiedades de las mezclas asfálticas tales como:

- Resistencia a la fisuración y susceptibilidad térmica.
- Resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento) bajo carga cíclica y monotónica.
- Rigidez.
- Adherencia entre los agregados pétreos.
- Cohesividad.
- Resistencia al envejecimiento.
- Resistencia a la fatiga.
- Resistencia al daño por humedad.

### **2.2.5 Tereftalato de polietileno (PET)**

Según Arnáiz (2014) el PET es “producido inicialmente por los británicos Whinfield y Dickson en 1941, en plena segunda guerra mundial, quienes estaban investigando poliésteres termoplásticos para la fabricación de fibras con el objetivo de sustituir las fibras naturales como el algodón o el lino provenientes de Egipto.”

El polímero tarda alrededor de 100 años en degradarse, actualmente en el mundo se recicla el 20% del envase (PET) de los 12 millones de toneladas que se usan, debido a que la gran cantidad restante sin reciclar se ha convertido en un contaminante potencia. (Basto, Hernández & Oliveros, 2019)

### 2.2.5.1 Ventajas

Es transparente, aunque admite algunos colorantes, irrompible, liviano, impermeable, no tóxico, inerte (al contenido), Resistencia esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza, alta resistencia química y buenas propiedades térmicas, totalmente reciclable, superficie barnizable. (Juarez, Santiago & Vera, 2011)

### 2.2.5.2 Desventajas

Tiene número finito de reciclado, no se destruye de forma natural, tiene desprendimiento de sustancias tóxicas cuando es sometido a temperaturas por arriba de los 230 °C. (Juarez et al., 2011)

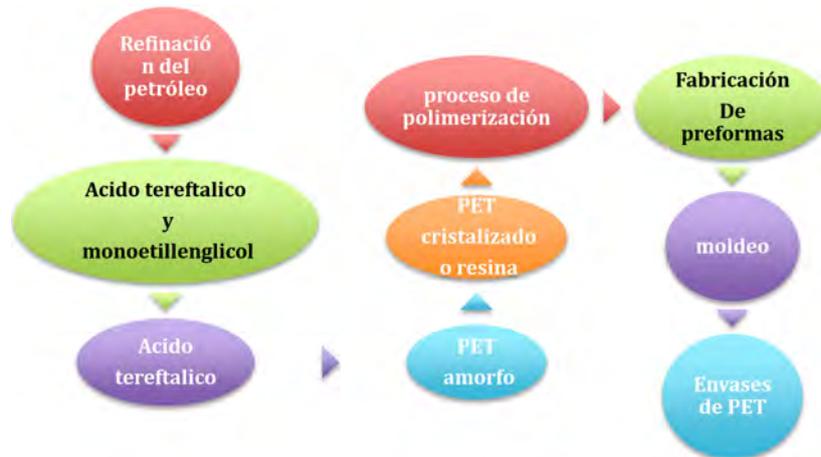
En la siguiente tabla 5, se muestran datos técnicos del PET.

**Tabla 5** *Propiedades y datos técnicos del PET.*

Propiedades	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1.34 - 1.39
Resistencia a la tensión	MPA	59 - 72
Resistencia a la compresión	MPA	76 - 128
Resistencia al impacto. Izod	J/mm	0.01 - 0.04
Dilatación térmica	10 <sup>-4</sup> /°C	15.2 - 24
Resistencia al calor	°C	80-120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 - 15750
Absorción de agua	%	0.02
Velocidad de combustión	Mm/min	Consumo lento
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: Obtenido de (Sánchez, Peña, Rico et al., 2018).

En la figura 8, se muestra el procedimiento de obtención del PET.



**Figura 8** Proceso de obtención del tereftalato de polietileno (PET)

Fuente: Obtenido de (Sánchez, Peña, Rico et al., 2018).

Según Arnáiz (2014) “Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo. 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire”

El componente más grande de desechos plásticos es el polietileno de baja densidad (LDPE) en aproximadamente el 23% seguido por el 18,5% de polipropileno (PP), el 17,3% de polietileno de alta densidad (HDPE), el 12,3% de poliestireno (PS / expandido PS), 10,7% cloruro de polivinilo (PVC), 8,5% tereftalato de polietileno (PET) y 9,7% otros tipos. Aproximadamente el 40% de los residuos de plástico es LDPE y HDPE, sin embargo, la mayoría de las investigaciones se centran en el uso de desechos de tereftalato de polietileno (PET). (Rumsys, Bacinskas, Spudulis & Mezkenas, 2017)

“Al incrementar de fibra de PET, genera que la relación de vacíos totales aumente en la mezcla, este incremento da como resultado una mezcla mucho más abierta y propensa a ser más permeable, pero los porcentajes inferiores al 1,7% cumplen el intervalo máximo del 3% al 5%”. (Sánchez, Peña, Rico et al., 2018)

### 2.2.6 Granos de neumático molido (GNM)

El caucho pueden ser de origen natural y caucho sintético elaborado artificialmente a partir de refinados de petróleo. La característica principal del caucho es que es capaz de sufrir una deformación elástica mucho mayor que otros materiales y aun así recuperar su forma original sin deformación permanente.

El caucho es un polímero amorfo en su naturaleza son insaturados, cuyo proceso de obtención es a través de ser llevados a vulcanización. En el cual adquiere una forma reticulada. Las composiciones principales de las llantas básicamente son de caucho natural y sintético (SBS, SBR) así como el negro humo. Así mismo se sabe que los automóviles poseen un aproximado de 16% de caucho natural y por otra parte poseen el 31% de caucho sintético. (Maguiña, 2019)

Los granos de neumático molido presentan diferentes características y composiciones ya sean de autos y camiones como se muestra en la siguiente tabla. 6

**Tabla 6** *Composición de los componentes del caucho molido (GNM)*

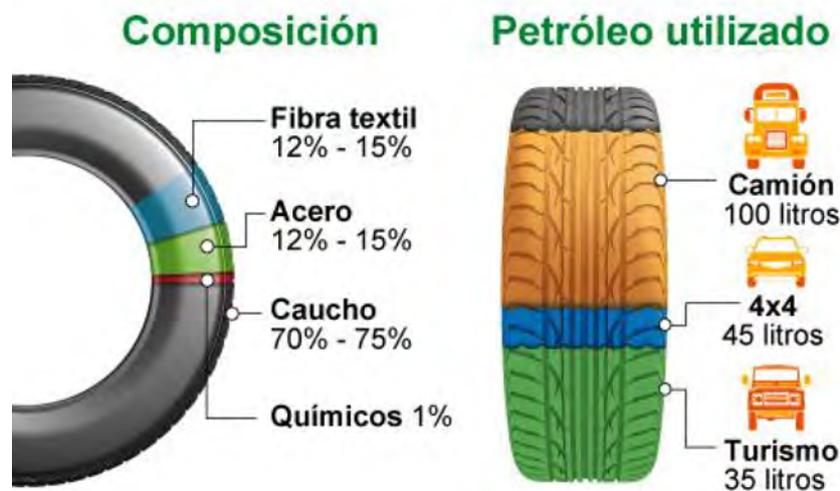
<b>Composición características</b>	<b>Autos camionetas</b>	<b>Camiones buses</b>
Caucho natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de humo 28%	14 - 15%	28%
Acero	16 - 17%	14 – 15%
Fibra textil, suavizantes	8.6. kg	16 – 17 kg
Peso promedio	0.06	45.5 kg
Volumen		0.36 kg

Fuente: Obtenido de (Maguiña, 2019).

Según la revisión de la literatura de G. A. Martín (2015) afirma que “un neumático es 100% reciclable. Su proceso no es contaminante y consiste en la extracción selectiva de sus componentes, separándolos para ser de nuevo utilizados.”

Después de realizar un tratamiento a los neumáticos fuera de uso, se obtiene los siguientes componentes:

- 65% de caucho.
- 15-25% de acero.
- 10-15% de fibras textiles



**Figura 9** Composición y consumo petrolífero de neumáticos

Fuente: Obtenido de (G. A. Martín, 2015).

Uno de los principales puntos de estudio en la investigación es el caucho reciclado obtenido del triturado de neumáticos desechados como elemento constructivo, para esto debemos saber la definición de caucho y neumático. El caucho por definición se conoce como una sustancia elástica, impermeable y resistente utilizada en la construcción de neumáticos por otra parte el neumático por definición es una cubierta de caucho o goma junto con otros agregados como el acero, óxido de zinc, textil, azufre, aditivos entre otros con el fin de soportar altas temperaturas y gran fricción con el pavimento. (Ramirez, Orjuela & Angulo, 2020)

“El caucho reciclado puede ser utilizado como componente de pavimentos, además de las importantes ventajas ambientales y económicas, como el incremento de la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga”.(Pelaéz et al., 2015)

## 2.2.7 Métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente

### 2.2.7.1 Método Marshall

El método de dosificación de mezclas que ha alcanzado la mayor difusión es el basado en el ensayo Marshall. En principio, aplicable sólo a los hormigones bituminosos en caliente, en los que además el tamaño máximo del árido no exceda de los 20 mm; sin embargo, a veces se aplica también a la formulación de otros tipos de mezcla. El ensayo fue desarrollado durante la segunda guerra mundial por el US Army Corps of Engineers. Consiste en la rotura de unas probetas cilíndricas de 101.6 mm de diámetro y 63.5 mm de altura mediante la aplicación de una mordaza perimetral con una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/min. (Kraemer et al., 2004)

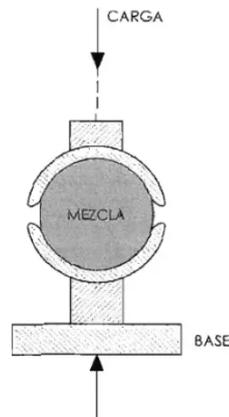
Una vez fijada una granulometría de los áridos y el tipo de ligante, se fabrican las probetas con diferentes contenidos de ligante. Según el manual de ensayo de materiales MTC (2016), para propósitos de diseño de mezcla “los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo deberán consistir del promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0,5% sobre un rango de contenido de ligante.”

A continuación se procede a su compactación en un molde mediante la maza Marshall, de características normalizadas, aplicando unos golpes en cada una de las caras planas de la probeta, cuyo número de golpes depende de las características del tráfico (35, 50 y 75).(Kraemer et al., 2004)

Desmoldadas la probetas tras su enfriamiento, se determina su densidad aparente con una balanza hidrostática. Este dato, junto con los pesos específicos del conjunto de los áridos y del ligante, permite el cálculo de las proporciones de los huecos de la mezcla (porosidad) y de los huecos en áridos (suma de la porosidad y del volumen relativo ocupado por el ligante).(Kraemer et al., 2004)

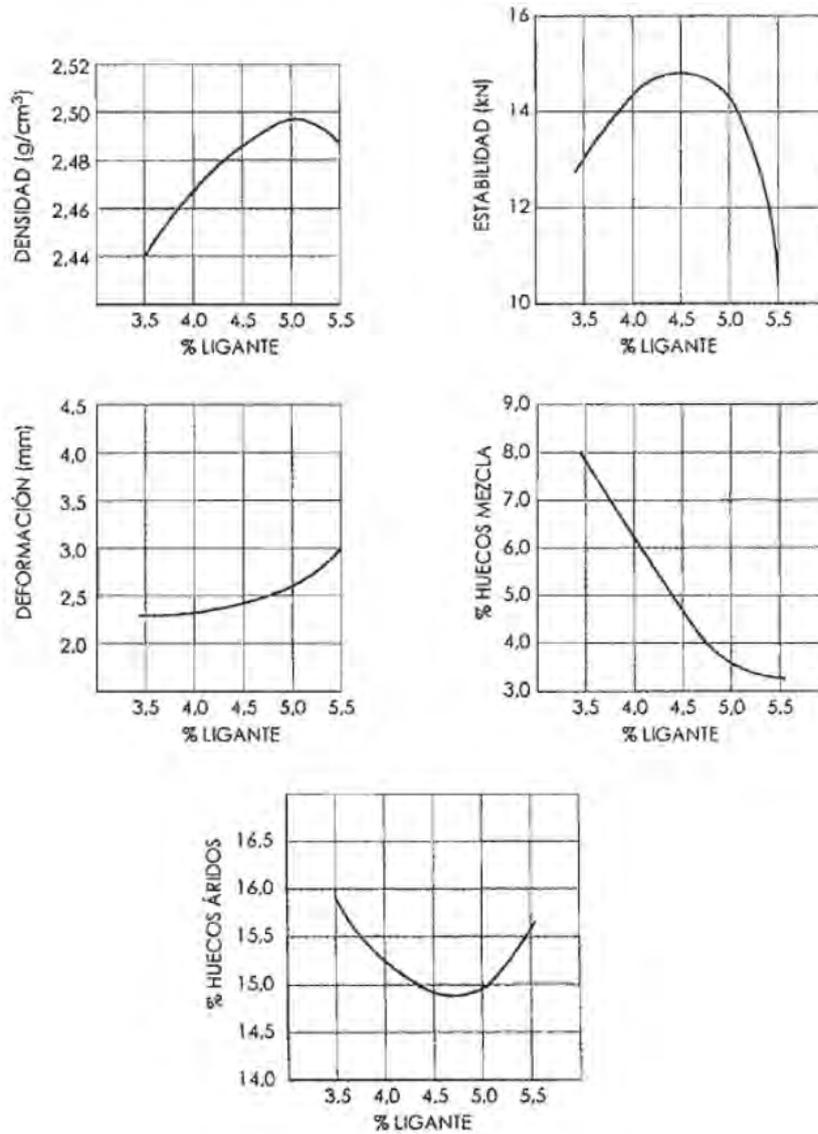
Después de mantener las probetas en agua a una temperatura de 60°C, se ensayan hasta la rotura de la manera ya descritas. Se define como **estabilidad Marshall** la carga de rotura (KN) y como **flujo Marshall** la deformación o acortamiento diametral (mm) hasta el momento de la rotura.(Kraemer et al., 2004)

La estabilidad Marshall es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo y gradación del agregado y grado del bitumen empleado así como su cantidad. El flujo Marshall es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinado durante el ensayo de estabilidad. No existe un valor ideal pero hay límites aceptables. Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto sobrepasa el límite superior, la mezcla se considera demasiado plástica ó inestable, y si está bajo el límite inferior esta se considera demasiado rígida. Se muestra en la siguiente figura 10 el esquema del ensayo Marshall. (MTC, 2016)



**Figura 10** Esquema del ensayo Marshall .  
Fuente: Obtenido de (Kraemer et al., 2004).

Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son los que se han citado como la densidad, la estabilidad, el flujo, la proporción de huecos en mezcla y proporción de huecos en áridos. Su variación con el contenido de ligante se representa en el siguiente figura 11.(Kraemer et al., 2004)



**Figura 11** Gráficos Marshall.

Fuente: Obtenido de (Kraemer et al., 2004).

Las mezclas asfálticas en caliente compactadas deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas generales para la construcción del manual de carreteras que se muestra en la siguiente tabla 7. (MTC, 2013)

**Tabla 7** Requisitos para mezclas asfálticas en caliente

Parámetros de diseño	Requisitos para mezcla de concreto bituminoso		
	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	50
2. Estabilidad	8.15 kN (831 kg)	5.44 kN	4.53 kN
3. Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14 (2-4 mm)	8 - 16	8 - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3.0 - 5.0	3.0 - 5.0	3.0 - 5.0
5. Relación de estabilidad/flujo (kg/cm3)	1700 - 4000		

Fuente: obtenido de (MTC, 2013)

## 2.2.8 Propiedades volumétricas

### 2.2.8.1 Gravedad específica bulk

“Es la relación del peso en el aire de un material permeable (incluyendo los vacíos permeables e impermeables del material) a la temperatura establecida del agregado incluyendo los vacíos permeables.” (Minaya & ordóñez, 2006)

$$G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp}) \gamma_w} \quad (2.12)$$

Donde:

$G_{sb}$  : Gravedad específica bulk del agregado.

$W_s$  : Peso del agregado seco.

$V_s$  : Volumen del agregado con los vacíos impermeables.

$V_{pp}$  : Volumen de vacíos permeables.

$\gamma_w$  : Peso específico del agua,  $g/cm^3$ .

Cuando el agregado total consiste de fracciones separadas de agregados grueso, fino y filler, todos tienen diferentes gravedades específicas, la gravedad específica bulk de la combinación de agregados se calcula empleando la siguiente ecuación.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (2.13)$$

Donde:

$G_{sb}$  : Gravedad específica bulk de la combinación de agregados.

$P_1, P_2, P_n$  : Porcentajes individuales por peso del agregado.

$G_1, G_2, G_n$  : Gravedad específica bulk individual del agregado.

### 2.2.8.2 Gravedad específica efectiva del agregado

Se calcula con la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas. (Minaya & ordóñez, 2006)

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (2.14)$$

Donde:

$G_{se}$  : Gravedad específica efectiva del agregado.

$P_{mm}$  : Porcentaje en del total de la mezcla suelta, 100%.

$P_b$  : Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra.

$G_{mm}$  : Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (sin vacíos de aire).

$G_b$  : Gravedad específica del asfalto.

### 2.2.8.3 Gravedad específica teórica máxima de mezclas con diferentes contenidos de asfalto

“Cuando se diseña una mezcla con un agregado dado, se requiere la gravedad específica teórica máxima  $G_{mm}$ , con diferentes contenidos de asfalto para calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.” (Minaya & ordóñez, 2006)

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (2.15)$$

Donde:

$G_{mm}$  : Gravedad específica teórica máxima.

$P_{mm}$  : Peso total de la mezcla.

$P_s$  : Peso del agregado.

$P_b$  : Peso del asfalto.

$G_{se}$  : Gravedad específica efectiva del agregado impregnado con asfalto.

### 2.2.8.4 Porcentaje de vacíos de aire en mezcla compactada

“Los vacíos de aire, en el total de la mezcla compactada consisten de los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregados recubiertos. El porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada.” (Minaya & ordóñez, 2006)

$$V_a = 100 \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (2.16)$$

Donde:

$G_a$  : Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

$G_{mm}$  : Gravedad específica teórica máxima de la mezcla.

$G_{mb}$  : Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

### 2.2.8.5 Porcentaje de VMA en mezcla compactada

“Los vacíos en el agregado mineral **VMA**, se definen como los vacíos entre las partículas de agregado de la mezcla compactada, incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, se expresa como un porcentaje del volumen total.”(Minaya & ordóñez, 2006).

El VMA se calcula en base a la gravedad específica bulk del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen bulk de la mezcla compactada.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}P_s}{G_{sb}} \quad (2.17)$$

Donde:

$VMA$  : Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk.

$G_{sb}$  : Gravedad específica bulk del agregado total.

$G_{mb}$  : Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

$P_s$  : Contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla.

### 2.2.8.6 Absorción de asfalto

“La absorción de asfalto se expresa como el porcentaje en peso del agregado mas que como el porcentaje del peso total de la mezcla, el asfalto absorbido,  $P_{ba}$ ”, se determina.(Minaya & ordóñez, 2006)

$$P_{ba} = 100 \left( \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb}G_{se}} \right) G_b \quad (2.18)$$

Donde:

$P_{ba}$  : Asfalto absorbido, porcentaje del peso de agregado.

$G_{se}$  : Gravedad específica efectiva del agregado.

$G_b$  : Gravedad específica del asfalto.

$G_{sb}$  : Gravedad específica bulk del agregado.

### 2.2.8.7 Contenido de asfalto efectivo de la mezcla

“El contenido de asfalto efectivo  $P_{be}$ , de una muestra es el contenido de asfalto total menos la cantidad de asfalto absorbido dentro de las partículas de agregado. Esta es la porción del contenido de asfalto total que cubre el exterior del agregado.” (Minaya & ordóñez, 2006)

Este es el contenido de asfalto que gobierna la performance de un diseño de mezcla asfáltica en caliente.

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100}P_s \quad (2.19)$$

Donde:

$P_{be}$  : Contenido de asfalto efectivo, porcentaje del peso total de la mezcla.

$P_b$  : Contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla.

$P_{ba}$  : Asfalto absorbido, porcentaje del peso de agregado.

$P_s$  : Contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla.

## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1 Ensayo de cántabro (MTC E 515)

El objetivo es determinar el valor de pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas usando la máquina de los ángeles.

Se deben preparar como mínimo 4 probetas para cada contenido de ligante asfáltico. La cantidad total para este ensayo son 1000g, y se elaboran las briquetas con una energía de compactación de 50 golpes por cada cara.(MTC, 2016)

**Procedimiento** Se realiza los siguientes pasos:(MTC, 2016)

- a) La temperatura de ensayo está en el rango de 15°C y 30°C, las briquetas se deben mantener a esta temperatura como mínimo 6 horas antes de ensayarlas.
- b) Se pesa la masa de cada briketa con aproximación de 0.1g y se anota el valor P1 antes de ensayarlas.
- c) Se coloca la briketa en el bombo de la máquina de los ángeles, sin la carga abrasiva de las esferas. A continuación se hace girar el tambor a una velocidad de 30 a 33 rpm (300 vueltas).
- d) Al finalizar el ensayo se saca la briketa y se pesa de nuevo con una aproximación

de 0.1 g y se anota este valor como P2.

El cálculo de desgaste de la briqueta mediante la máquina de los ángeles se realiza mediante la siguiente fórmula.

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (2.20)$$

Donde:

$P$  : Valor de la pérdida por desgaste, en %.

$P_1$  : Masa inicial de la briqueta, en gramos.

$P_2$  : Masa final de la briqueta, en gramos.

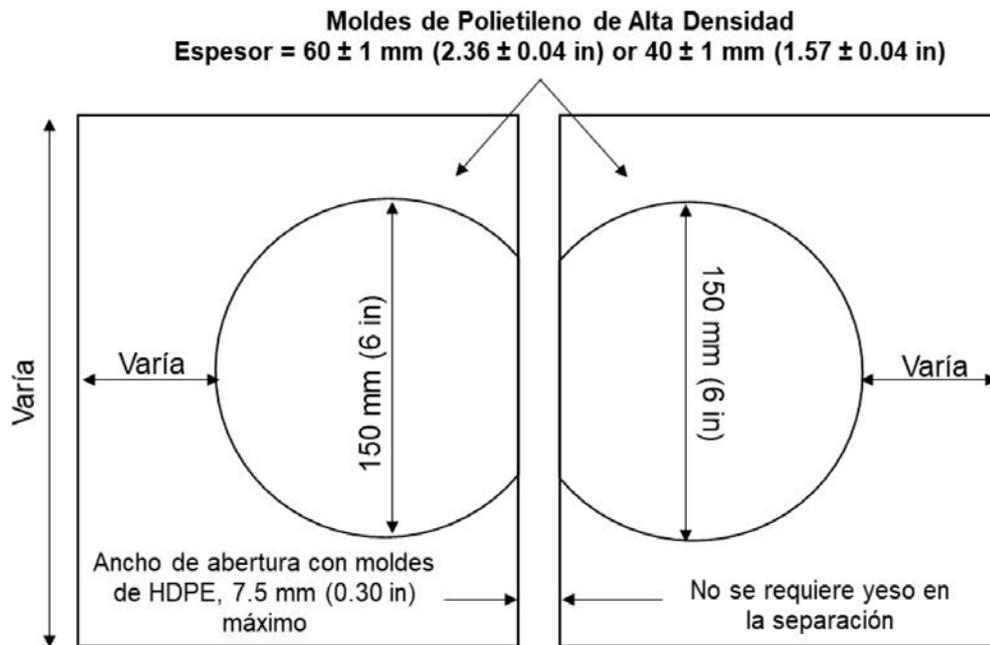
### 2.3.2 Pruebas de desempeño del diseño de mezclas asfálticas

En la presente investigación se realiza una prueba de desempeño (ahuellamiento) tanto para el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas, posteriormente realizar un análisis comparativo de ambos diseños.

#### 2.3.2.1 Ensayo de rueda cargada de Hamburgo (AASHTO T-324)

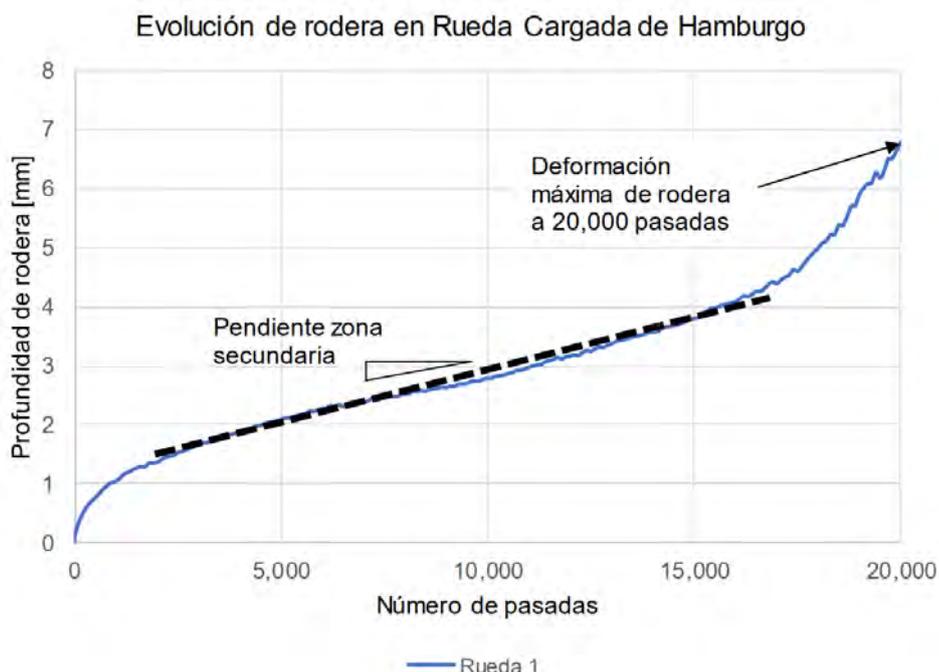
“La finalidad del presente ensayo es determinar la susceptibilidad a la humedad y formación de roderas mediante el equipo de rueda cargada de Hamburgo en una mezcla asfáltica en caliente compactada.” (Ayala, Delgado, Guzmán & Salazar, 2018). Así mismo, determinar la falla prematura de la mezcla debido a la debilidad de la estructura del agregado o inadecuada rigidez del asfalto. (Ayala et al., 2018)

Este método de ensayo describe el procedimiento para evaluar la susceptibilidad a la deformación permanente y el daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente usando especímenes sumergidos bajo la acción de una rueda oscilante en el equipo Rueda Cargada de Hamburgo. Este procedimiento aplica para especímenes cilíndricos compactados en laboratorio mediante el compactador giratorio superpave (CGS), con dimensiones de aproximadamente de 150 mm de diámetro y 62 mm de altura como se muestra en la siguiente figura 12 .(LanammeUCR, 2019)



**Figura 12** Dimensiones de moldes de doble núcleo de polietileno de alta densidad  
Fuente: Obtenido de (Ayala, Delgado, Guzmán & Salazar, 2018).

El espécimen es sumergido en un baño de agua a una temperatura controlada de 40 °C a 50 °C o una temperatura específica de acuerdo con el ligante asfáltico utilizado. La deformación del espécimen, causada por la carga de la llanta, es medida. La impresión es graficada como función del número de pasadas de la llanta representada como en la figura 13 . Un aumento abrupto en la tasa de deformación coincide con el desprendimiento de la película de ligante asfáltico del agregado en el espécimen de mezcla asfáltica.(LanammeUCR, 2019)



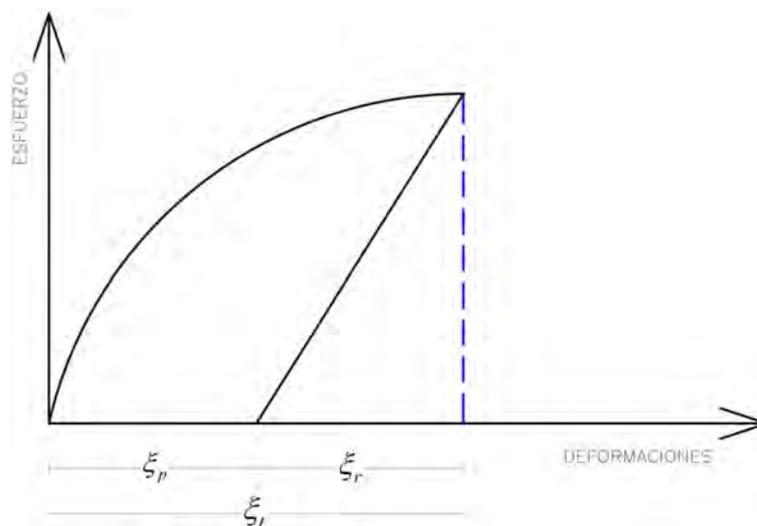
**Figura 13** Gráfica de profundidad de rodera.  
Fuente: Obtenido de (Ayala, Delgado, Guzmán & Salazar, 2018).

El ensayo consiste en aplicar una carga de 705 N (72 kg) a una temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$  durante 20000 ciclos monitoreando su deformación total hasta el límite de 12.5 mm de acuerdo a los criterios establecidos en la norma AASHTO T324.(D'Amico, 2014)

Desde el punto de vista mecanicista, existen dos tipos de falla principales en las mezclas asfálticas, que son la deformación permanente y el fisuramiento por fatiga. La deformación permanente es generada por deformación plástica del concreto asfáltico y/o por deformación de la subrasante. (Huamán & Chang, 2015)

Cuando a un material granular se le inducen ciclos de carga y descarga, parte de la deformación total  $\xi_t$  que se genera es recuperada y se le conoce como la deformación resiliente  $\xi_r$ . Aquella deformación que no se recupera se acumula con cada repetición del ciclo y se le denomina deformación permanente  $\xi_p$ . (Huamán & Chang, 2015)

En la siguiente figura 14 se ilustran estos conceptos.



**Figura 14** Gráfico demostrativo sobre la deformación permanente.

Fuente: Obtenido de (Huamán & Chang, 2015).

En un pavimento estas deformaciones si son excesivas, generan hundimientos o desplazamientos que se manifiestan en la superficie como ahuellamiento, incluso asentamientos de gran magnitud. La deformación permanente también se genera por la acumulación de pequeñas deformaciones que ocurren en cada capa, debido a la aplicación de carga, lo cual convierte esta deformación en irrecuperable.(Huamán & Chang, 2015)

“El ahuellamiento es producto de la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes. Además, para incrementar la resistencia de la capa de mezcla asfáltica, es necesario que se comporte más como un sólido elástico a altas temperaturas.” (Huamán & Chang, 2015)

## Capítulo III

# Método de la investigación

---

### 3.1 Enfoque

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque **cuantitativo**, porque hay una recopilación de datos y muestras para probar las hipótesis planteadas que están basados en mediciones numéricas y posterior análisis estadístico con el objetivo de establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Se establecen las hipótesis a partir de las preguntas de investigación y se definen las variables, se diseña un plan de prueba para someterlos, se miden las variables y se transforman las mediciones en valores numéricos para analizar posteriormente con métodos estadísticos, finalmente se dan conclusiones sobre las hipótesis planteadas.

### 3.2 Alcance

El alcance de la presente investigación es **correlacional**; porque hay un grado de relación y asociación entre la variable independiente (polímeros reciclables) y la variable dependiente (evaluación de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica), se caracteriza porque primero se miden las variables y después se cuantifican, analizan y se establecen vinculaciones.

### 3.3 Diseño de investigación

La investigación es de tipo **experimental**; pues están planeadas para realizarse en un ambiente específico de pruebas. Para ello, se requiere de un marco controlado de pruebas, el cual simula las posibles condiciones a las que se enfrentará el objeto de estudio.(Muños, 2011)

Es experimental porque se realizan manipulaciones intencionales a las variables

independientes (polímeros reciclables PET y GNM) para ver el efecto que se tienen sobre las variables dependientes.

## 3.4 Población y muestra

En la muestra el interés se centra en “qué o quienes”, es decir, en los participantes, objetos o sucesos o colectividades de estudio, (las unidades de muestreo), lo cual depende del planteamiento y los alcances de la investigación. Una vez definido la unidad de muestreo, se procede a delimitar la población que va ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados.(Hernández, 2014)

### 3.4.1 Población.

En la presente investigación la población está definida por la totalidad de las briquetas de mezcla asfáltica en caliente elaborados en el laboratorio, las cuales están agrupados en mezclas asfálticas modificadas y convencionales.

### 3.4.2 Muestra del estudio

En esta investigación las muestras son no probabilísticas, ya que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las causas relacionadas a los propósitos del investigador.(Hernández, 2014)

La muestra para diseños de mezclas asfálticas, deberán consistir del promedio de un mínimo de 3 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0.5% sobre un rango de contenido de (5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, y 7.0% para el diseño convencional de mezcla asfáltica en caliente. ).(MTC, 2013)

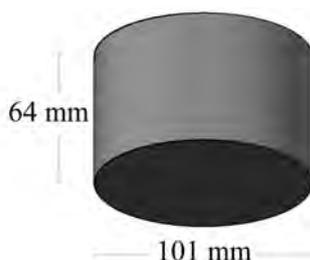
Las muestras para diseños de mezclas asfálticas modificadas con polímeros reciclables (PET y GNM), se realizan 3 especímenes para cada porcentaje incremental de polímeros reciclables de:

- **0.5%** (30% PET+70% GNM, 40% PET+60% GNM, 50% PET+50% GNM, 60% PET+40% GNM, 70% PET+30% GNM).
- **1.0%** (30% PET+70% GNM, 40% PET+60% GNM, 50% PET+50% GNM, 60% PET+40% GNM, 70% PET+30% GNM).
- **1.5%** (30% PET+70% GNM, 40% PET+60% GNM, 50% PET+50% GNM, 60%

PET+40% GNM, 70% PET+30% GNM).

- **2.0%** (30% PET+70% GNM, 40% PET+60% GNM, 50% PET+50% GNM, 60% PET+40% GNM, 70% PET+30% GNM)

La unidad de análisis está dado por briquetas de mezcla asfáltica convencional y modificada con polímeros reciclables en diferentes proporciones, cuyo diámetro es 101 mm y su espesor es 64mm como se muestra en la siguiente figura 15.



**Figura 15** Briketa Marshall para mezcla asfáltica en caliente.

Fuente: Elaboración propia.

## 3.5 Hipótesis

Es en la hipótesis donde se establece la relación que existe entre las variables y los constructos en el problema a solucionar. La hipótesis se someterá a prueba en el estudio a través de un método de comprobación acorde a la metodología de investigación elegida. (Muños, 2011)

### 3.5.1 Hipótesis general

Con la adición de polímeros reciclables se logra mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente modificadas con respecto a las convencionales usando la cantera Allcomachay en la provincia de Huanta 2020.

### 3.5.2 Hipótesis específicas

- a) Con la adición de polímeros reciclables en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente modificada se logra tener valores aceptables de estabilidad y fluencia Marshall respecto a las convencionales.
- b) Hay diferencia significativa en la variación del desgaste de cántabro de una mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables respecto a una convencional.
- c) Con el uso de polímeros reciclables en el diseño de una mezcla asfáltica modificada se permite reducir el ahuellamiento respecto a un diseño convencional.

## 3.6 Operacionalización de variables

### 3.6.1 Variables

Las variables usadas en la investigación son los siguientes:

**Variabes independientes** Están comprendidos por la dosificación en diferentes porcentajes de polímeros reciclables.

- Polímero reciclable PET.
- Polímeros reciclable GNM.

**Variabes Dependientes** Están conformadas por la evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.

- Evaluación de la propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional.
- Evaluación de la propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables.

### 3.6.2 Indicadores

Al referirnos a las variables sabemos que estos no son observables directamente. Por lo tanto, se deben buscar procedimientos que permitan la medición indirecta mediante manifestaciones externas, empíricas y observables. Tales expresiones son los indicadores. (Hernández, 2014)

En la tabla 8 se muestra los variables e indicadores y en la tabla 9 se muestra la operacionalización de las variables independientes y dependientes.

**Tabla 8** Variables e indicadores.

	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medición</b>
<b>V.D Dependientes</b>	Evaluación de las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica convencional.	Resistencia a la deformación	kg
		Deformación diametral	mm
	Evaluación de la propiedades mecánicas de mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables.	Desgaste de cántabro	%
		Resistencia a la deformación permanente no recuperable	mm
<b>V.I Independientes</b>	Incorporación de polímeros reciclables (PET + GNM).	Cantidad de polímeros reciclables	kg

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9** Operacionalización de variables independientes y dependientes.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Rango de medición
<b>V.I: VARIABLE INDEPENDIENTE</b>					
<b>Dosificación de polímeros reciclables (PET + GNM).</b>	Es la acción de incorporación materiales reciclables en diferentes proporciones.	Se elaboran briquetas con diferentes porcentajes de PET y GNM	PET	Dosificación	0.5% - 2.0%
			GNM	Dosificación	0.5% - 2.0%
<b>V.D: VARIABLE DEPENDIENTE</b>					
<b>Evaluación de las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica convencional.</b>	Son las que describen el comportamiento de un material ante la aplicación de una fuerza.	Se realiza el ensayo Marshall en laboratorio mediante la norma MTC E 504	Estabilidad	Resistencia a la deformación	mín. 831 kg
		Se realiza el ensayo Marshall en laboratorio mediante la norma MTC E 504	Flujo	Deformación diametral	2 - 4 mm
<b>Evaluación de la propiedades mecánicas de mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables.</b>		Se realiza el ensayo de cántabro de pérdida por desgaste, mediante la norma MTC E 515	Desgaste	Desgaste de cántabro	variable (%)
		Se realiza el ensayo de rueda de Hamburgo mediante la norma AASHTO T 324	Ahuellamiento	Resistencia a la deformación permanente no recuperable	0 - 12.5 mm (0 - 20000 pasadas de rueda)

Fuente: Elaboración propia.

## 3.7 Técnicas e instrumentos

Para poder contrastar la hipótesis general y las hipótesis específicas se requerirá aplicar lo siguiente:

### 3.7.1 Técnicas

- a) **Técnica de análisis documental** consistió en seleccionar fuentes bibliográficas, artículos, documentos oficiales y el internet del área de investigación a fin de tener las ideas y datos necesarios para llevar a cabo la investigación.
- b) **Técnica de trabajo de campo** consistió en la obtención y recolección de las muestras y materiales para luego realizar un diseño óptimo en laboratorio sobre el tema de investigación.

### 3.7.2 Instrumentos

#### Software y Aplicaciones :

- a) Microsoft excel 2016
- b) Microsoft word 2016
- c) AutoCad 2020
- d) MathType 7
- e) WinEdit 10
- f) TeXstudio
- g) JabRef 2.11
- h) IBM SPSS Statistics 26

#### Equipos de ensayo :

- a) Balanzas electrónicas
- b) Mallas granulométricas
- c) Hornos de cocina a gas
- d) Hornos eléctricos
- e) Horno de convección forzada
- f) Bandejas de acero
- g) Charolas
- h) Moldes de briquetas
- i) Pedestal de compactación
- j) Equipo de baño maría
- k) Equipo para ensayo RICE
- l) Compactador Marshall
- m) Extractor de muestras compactadas
- n) Prensa Marshall
- o) Máquina de los ángeles
- p) Equipo de rueda cargada de Hamburgo
- q) Compactador giratorio superpave

### 3.7.3 Instrumentos para recolección y procesamiento de datos

Se presentan los siguientes instrumentos de procesamiento de datos.

**Tabla 10** Formato para ensayo de peso específico rice (Gmm).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
FORMATO PARA EL ENSAYO RICE (Gmm)		
Tesista	: Danny Rojas Quinto	Región : Ayacucho
Laboratorio	: Ingeotecon Contratistas Generales y Ejecutores E.I.R.L	Provincia : Huanta
Material	: Mezcla asfáltica suelta	Distrito : Huanta
Peso específico Rice (Gmm)		
Descripción	und	Peso
Peso Material (A)	g	
Peso material + Peso Picnómetro + Peso de agua destilada (B)	g	
Peso Picnómetro + Peso de agua destilada (C)	g	
Peso específico Rice (Gmm)	g/cm <sup>3</sup>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11** Formato para ensayo de gravedad específica de mezcla compactada (Gmb).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
FORMATO PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA COMPACTADA (Gmb)				
Tesista	: Danny Rojas Quinto	Región	: Ayacucho	
Laboratorio	: Ingeotecon Contratistas Generales y Ejecutores E.I.R.L	Provincia	: Huanta	
Material	: Briqueta compactada	Distrito	: Huanta	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA COMPACTADA				
IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		1	2	3
(A) Masa del espécimen seco	g			
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g			
(C) Masa del espécimen sumergido	g			
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	g/cm <sup>3</sup>			
(Gmb) Promedio	g/cm <sup>3</sup>			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12 Formato de diseño Marshall MTC E 504.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA		FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
FORMATO DE ENSAYO MARSHALL MTC E 504								
Tesista	: Danny Rojas Quinto	Región	: Ayacucho					
Laboratorio	: Ingeotecon Contratistas Generales y Ejecutores E.I.R.L	Provincia	: Huanta					
Material	: Mezcla asfáltica en caliente	Distrito	: Huanta					
DISEÑO MARSHALL								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
% Pasa Material								
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
Nº	DESCRIPCION	Nº	1	2	3		PROM	
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)							
2	Agregado grueso > Nº 4							
3	Arena chancada							
4	Arena zarandeada							
5	Peso específico del C.A PEN 120/150 (Gb)							
6	Peso específico bulk del agregado grueso							
7	Peso específico bulk de la arena chancada							
8	Peso específico bulk de la arena zarandeada							
9	Altura promedio de la probeta							
10	Peso de briqueta al aire (A)							
11	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)							
12	Peso de briqueta sumergida en agua (C)							
13	Volumen de la briqueta							
14	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)							
15	Peso específico máximo teórica (RICE) (Gmm)							
16	Vacios de aire en mezcla compactada (Va)							
17	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)							
18	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)							
19	Vacios del agregado mineral (VAM)							
20	Vacios llenos de asfalto (VFA)							
21	Absorción del asfalto (Pba)							
22	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)							
23	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm							
24	Estabilidad sin corregir							
25	Estabilidad sin corregir							
26	Factor de estabilidad							
27	Estabilidad corregida promedio							
28	Factor de rigidez							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13 Formato de ensayo de Cántabro MTC E 515.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA		FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
FORMATO DE ENSAYO CANTABRO MTC E 515					
Tesista	: Danny Rojas Quinto	Región	: Ayacucho		
Laboratorio	: Ingeotecon Contratistas Generales y Ejecutores E.I.R.L	Provincia	: Huanta		
Material	: Briquetas compactadas	Distrito	: Huanta		
ENSAYO CANTABRO					
Nº	MASA	MASA	TEMPERATURA	DESGASTE	PROMEDIO DESGASTE (%)
BRIQUETA	INICIAL (g)	FINAL (g)	(°C)	(%)	
1					
2					
3					
4					
5					

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14** Formato de ensayo rueda de Hamburgo AASHTO T 324.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
FORMATO DE ENSAYO RUEDA DE HAMBURGO AASHTO T-324			
Tesista	: Danny Rojas Quinto	Región	: Ayacucho
Laboratorio	: TDM Asfaltos	Provincia	: Huanta
Material	: Briquetas compactadas	Distrito	: Huanta
Ensayo de Rueda de Hamburgo AASHTO T 324			
Descripción	und.	Diseño Convencional	Diseño Modificado Con PET+GNM
Temperatura de ensayo	°C		
Velocidad de rueda	pasadas/min		
Cemento Asfáltico óptimos	%		
Polímeros reciclables óptimos	%		
Densidad Máxima teórica	g/cm <sup>3</sup>		
Porcentaje de Vacíos (Va)	%		
Profundidad final	mm		
Pasadas de Rueda Hamburgo	pasadas		

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que para realizar los ensayos y trabajos de laboratorio se usaron los siguientes laboratorios privados.

- Se uso las instalaciones y equipos del laboratorio de la empresa Ingeotecon Contratistas Generales y Ejecutores E.I.R.L., ubicada en la ciudad de Ayacucho.
- También se uso las instalaciones y equipos del laboratorio de la empresa TDM asfaltos ubicado en las Praderas de Lurín (Lima).

## 3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.

### 3.9 Análisis cuantitativo de los datos

Para el procesamiento de la información se hace uso herramientas como el programa microsoft excel 2016 y el programa estadístico IBM SPSS Statistics 26, con el objetivo de realizar la contrastación de las hipótesis planteadas en la presente investigación.

#### 3.9.1 Análisis estadístico inferencial

Se usa este tipo de análisis, porque la presente investigación tiene un grado de correlación entre las variables.

## 3.9.2 Análisis de la varianza (ANOVA)

### 3.9.2.1 Hipótesis de normalidad

Se usa la prueba de normalidad de Shapiro wilk, porque nuestros datos son menores de 50.

#### A) Plantear la hipótesis de normalidad

$H_o$ : Los datos tiene una distribución normal.

$H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal.

#### B) Criterio de decisión

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  se rechaza la  $H_o$  y acepto la  $H_a$  .

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_o$  y se rechaza la  $H_a$ .

### 3.9.2.2 Hipótesis de homogeneidad de varianzas

Se analiza con el estadístico de Levene, que nos calcula la homogeneidad de varianzas.

#### A) Plantear la hipótesis

$H_o$ : Las medias son iguales.

$H_a$ : Al menos una de las medias es diferente.

#### B) Criterio de decisión

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  rechazamos la  $H_o$  y aceptamos la  $H_a$  .

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  aceptamos la  $H_o$  y rechazamos la  $H_a$ .

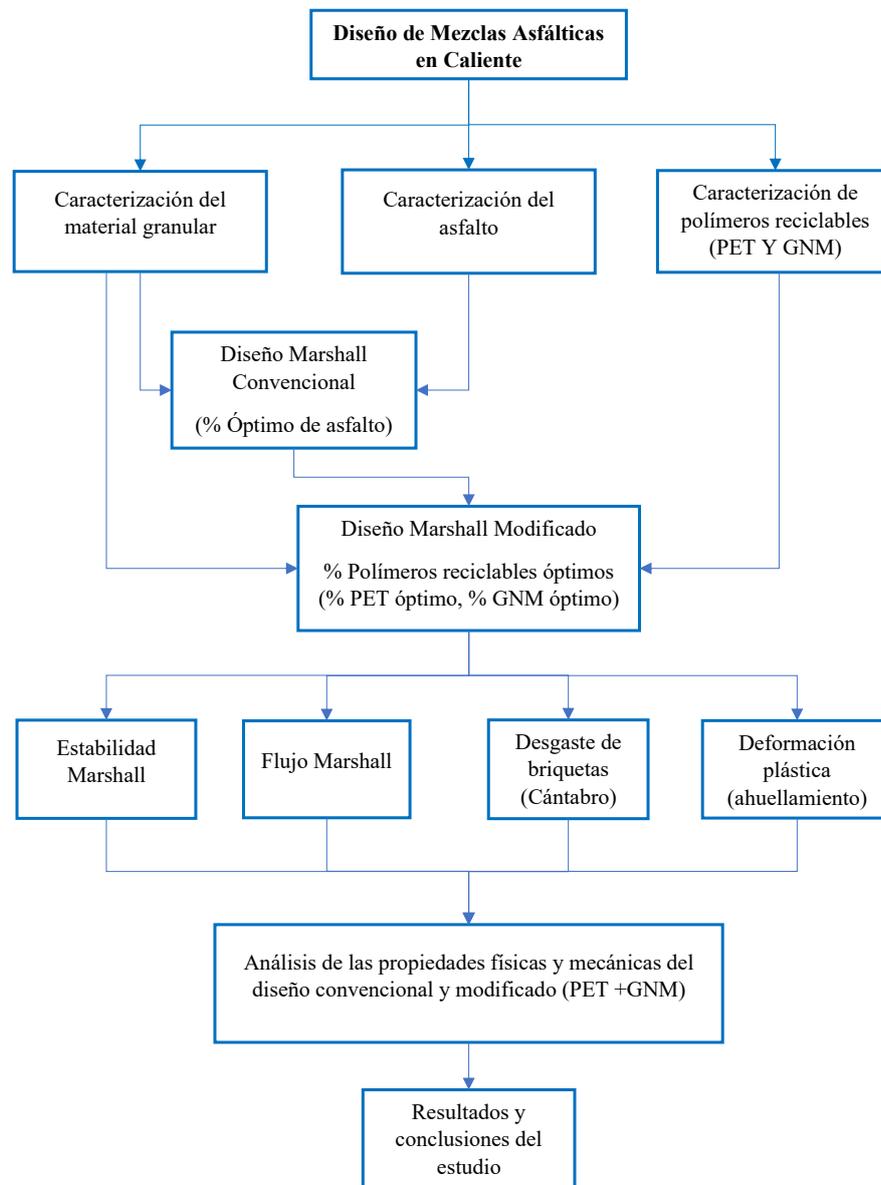
Cuando las varianzas analizadas no son iguales, entonces en ese caso se calcula un nuevo valor estadístico F, mediante una prueba robusta de igualdad de medias con el método de Brown-Forsythe y Welch.

### 3.9.2.3 Comparaciones múltiples post hoc mediante la prueba Tukey

Se aplica la prueba Tukey porque el tamaño de los grupos son iguales, con esta prueba analizamos si los grupos de estas medias son estadísticamente significativos.

### 3.10 Desarrollo del trabajo de tesis

Para desarrollar el presente trabajo de tesis fue necesario realizar una serie de procesos de como recolección de muestras en campo, luego someterlos a diseños de mezcla asfáltica en laboratorio de las briquetas de mezcla asfáltica y finalmente someterlos a una prueba de desempeño (ahuellamiento de mezclas asfálticas compactadas) para ver el comportamiento que tiene un diseño convencional con respecto al diseño modificado con materiales reciclables. Se presenta el diagrama de la metodología en la siguiente gráfico 18.



**Figura 16** Diagrama de la metodología utilizada en la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.1 Identificación de la zona de estudio

La presente investigación se lleva a cabo en el distrito de Huanta, provincia de Huanta en la región Ayacucho.

### 3.10.2 Ubicación y acceso de la cantera para la investigación

Se usa la cantera Allcomachay tanto para agregados gruesos, arena chancada y arena zarandeada. Esta cantera se encuentra ubicada a 25 minutos de la ciudad de Huanta. La cantera son depósitos fluviales formada por el arrastre de material del río Cachi,

Donde:

*Region* : Ayacucho

*Provincia* : Huanta

*Distrito* : Huanta

*Acceso* : La vía se encuentra pavimentada, la cantera se encuentra ubicada en la ruta Huanta-Mayocca a unos 25 km de la ciudad de Huanta.



**Figura 17** Ubicación de la cantera Allcomachay.

Fuente: Elaboración propia.

Características de la cantera se muestra en la siguiente cuadro 15 .

**Tabla 15** Características de la cantera Allccomachay.

Ubicación	A 25 km de la ciudad de Huanta
Coordenada Este	572614 m
Coordenada Norte	8578663 m
Equipo y maquinaria	Planta chancadora, Cargador frontal, excavadora, volquete
Producción agregados	Piedra chancada (90-100 m <sup>3</sup> /día) Arena chancada (40-50 m <sup>3</sup> /día)
Tipo de material	Material fluvial
Afluente	Rio Cachi

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 18** Producción de agregados en la cantera Allccomachay.

Fuente: Elaboración propia.

La cantera produce agregados según los requerimientos de los clientes, normalmente produce piedra chancada de 3/4" ,1/2" , arena zarandada y piedra de cantos rodados.

### 3.10.3 Estudio de los agregados

#### 3.10.3.1 Ensayos para los agregados gruesos (grava triturada 1/2")

Para realizar estos ensayos se usa la normativa del Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción R.D.N°22-2013-MTC/2014. que se muestra en la siguiente tabla 16 (MTC, 2013)

**Tabla 16** *Requerimientos para los agregados gruesos.*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m)	
		≤ 3000	> 3000
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión los ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	95	95
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% máx.	35% máx.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: Obtenido del Manual de Carreteras (MTC, 2013)

Se presenta el resumen del análisis del agregado grueso de la cantera Allcomachay.

**Tabla 17** *Reporte de resultados del agregado grueso.*

Resultado de agregado grueso					
N°	Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultado	Valoración
1	Durabilidad	MTC E 209	18% máx.	9.90%	Cumple
2	Abrasión de los ángeles	MTC E 207	40% máx.	19.40%	Cumple
3	Adherencia	MTC E 517	+95	+97.3	Cumple
4	Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín.	53%	Cumple
5	Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	4.20%	Cumple
6	Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	95.3/88.2	Cumple
7	Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.11%	Cumple
8	Gravedad específica bulk	MTC E 206	---	2.565	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.3.2 Ensayos para los agregados finos

Para realizar estos ensayos se usa la normativa del Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción R.D.N°22-2013-MTC/2014. (MTC, 2013)

**Tabla 18** *Requerimientos para los agregados finos.*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m)	
		≤ 3000	> 3000
Equivalente arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209		18% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 mín.	NP
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: Obtenido del Manual de Carreteras (MTC, 2013).

Se presenta el resumen del análisis del agregado fino de la cantera Allccomachay.

**Tabla 19** *Reporte de resultados del agregado fino.*

Resultado de agregado fino					
N°	Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultado	Valoración
1	Equivalente arena	MTC E 114	60% mín.	80%	Cumple
2	Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30% mín.	42.73%	Cumple
3	Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín.	49%	Cumple
4	Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4% máx.	2%	Cumple
5	Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.11%	Cumple
6	Gravedad específica bulk arena chancada	MTC E 205	---	2.563	
7	Gravedad específica bulk arena zarandeada	MTC E 205	---	2.558	

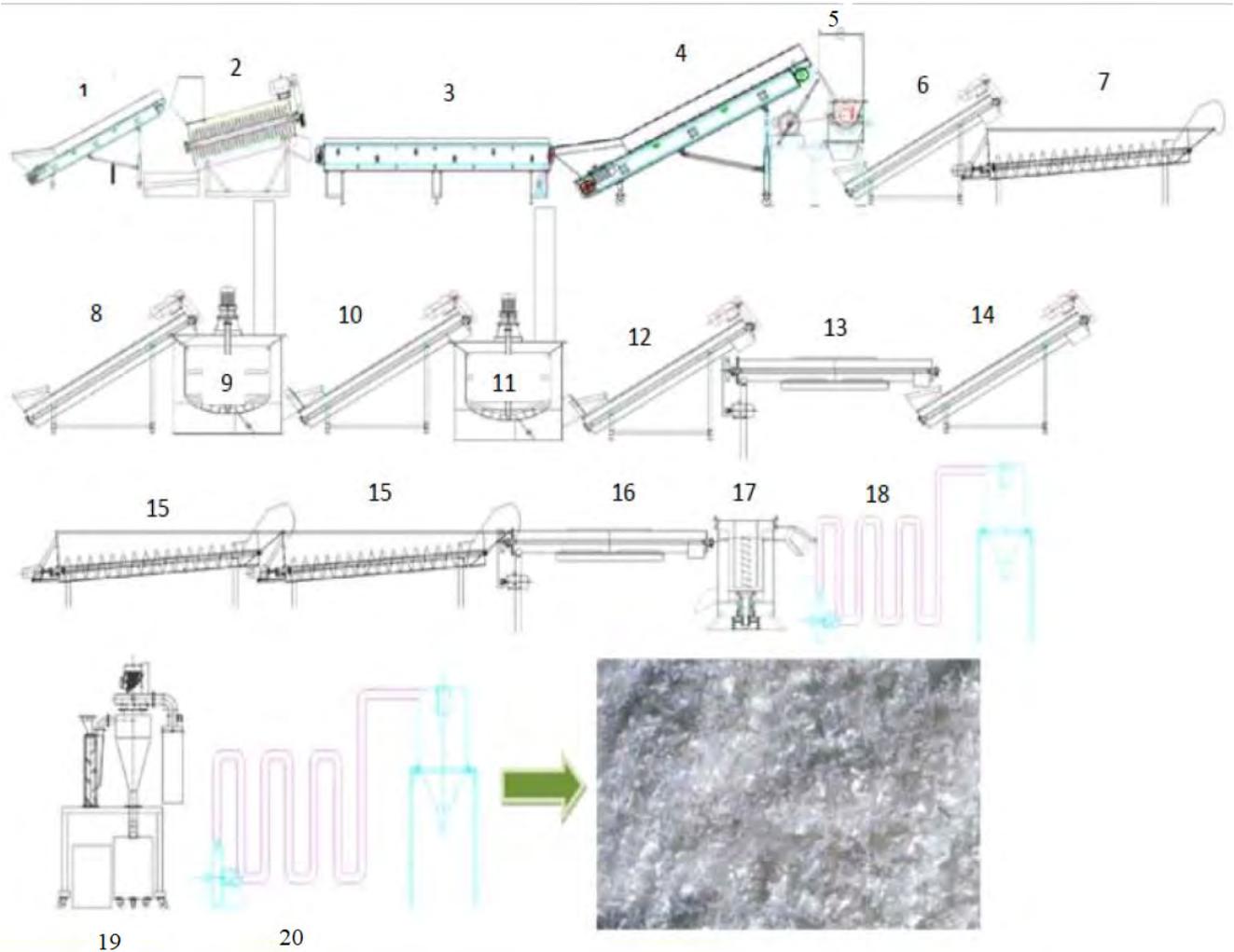
Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.4 Estudio de polímeros reciclables PET y GNM

#### 3.10.4.1 Procedimiento de fabricación

##### A) Tereftalato de polietileno (PET)

El proceso de obtención de PET molido contempla el acopio, reciclado, manufactura y finalmente la obtención de hojuelas y escamas. En la siguiente figura 19 se describe el proceso.



**Figura 19** Proceso de fabricación del pet molido.

Fuente: Obtenido de (Licht & Paque, 2017).

Donde:

1. Transporte de cinta.
2. Removedor de etiqueta.
3. Banda transportadora para selección de material.
4. Banda transportadora alimentadora-molino.

5. Molino triturador con inyección de agua.
6. Tornillo transportador helicoidal.
7. Tanque de lavado y separación de etiquetas y tapa.
8. Lavadora en fricción baja velocidad.
9. Tina de lavado en caliente 1.
10. Tina de lavado en caliente.
11. Tornillo transportador helicoidal.
12. Tina de lavado en caliente 2.
13. Tornillo transportador helicoidal.
14. Lavado en fricción alta velocidad.
15. Tanque de lavado y separación de etiqueta y tapa.
16. Tanque de enjuague.
17. Centrifugadora.
18. Secadora neumática.
19. Separación de finos y etiqueta.
20. Sistema de almacenamiento.



(a) Botella de PET.



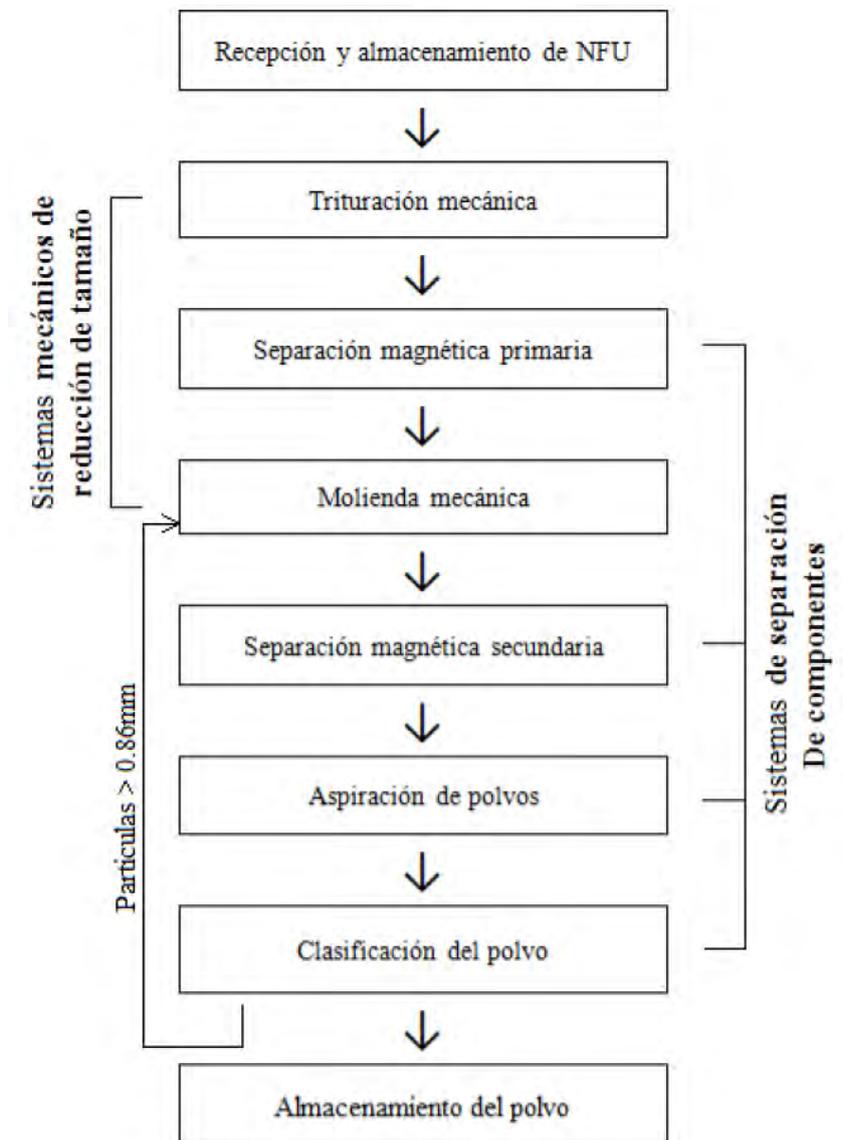
(b) PET molido.

**Figura 20** Producto final del PET molido.  
Fuente: Elaboración propia

## B) Granos de neumático molido (GNM)

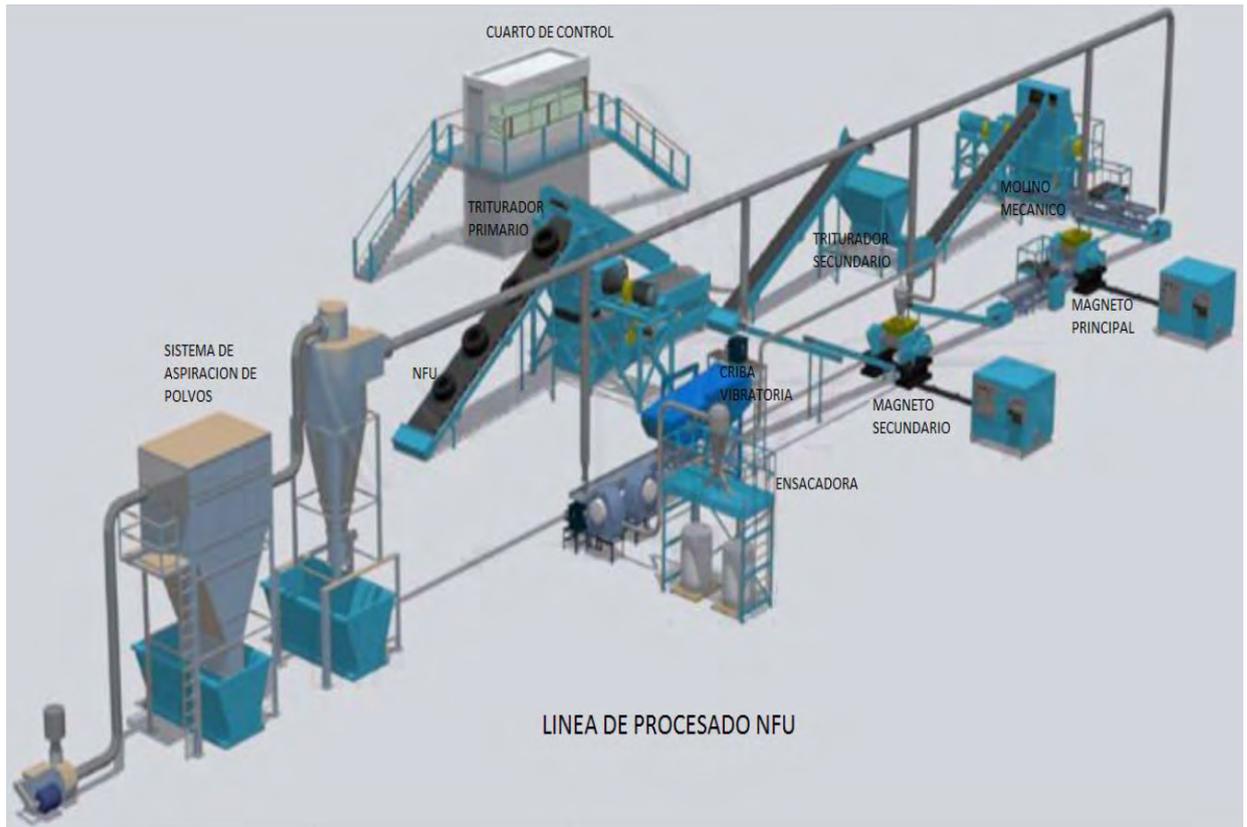
El proceso de producción consiste en la obtención de la materia prima, reciclaje, producción y comercialización del caucho de neumático molido que se encuentra fuera de uso.

1. Recepción y almacenamiento de neumáticos fuera de uso.
2. Triturado mecánico primario.
3. Triturado mecánico secundario.
4. Primera separación magnética.
5. Molido mecánico a temperatura ambiente.
6. Segunda separación magnética
7. Almacenamiento de polvo.



**Figura 21** Diagrama de fabricación del GNM molido.

Fuente: Obtenido de (Carpio & Medina, 2013).



**Figura 22** Proceso ilustrativo de obtención de GNM molido.

Fuente: Obtenido de (Carpio & Medina, 2013).

En la figura 23 se tiene los neumáticos fuera de uso y granos de neumático molido, que se usó como uno de los componentes en el diseño de mezcla asfáltica.



**(a)** Neumático fuera de uso.



**(b)** GNM molido.

**Figura 23** Producto final del GNM molido.

Fuente: Elaboración propia

#### 3.10.4.2 Caracterización y especificación técnica

Se realizó la caracterización de los insumos PET (tereftalato de polietileno) y GNM (granos de neumático molido fuera de uso) mediante especificaciones y fichas técnicas de estos materiales.

## A) Tereftalato de polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno es un polímero plástico, el valor de sus propiedades físicas y químicas son conocidas, en la tabla 20 se muestran sus valores.



PERU EN TI ALIMENTOS Y SERVICIOS SAC  
Calle Don Pompeyo 164 Apto 101 Urb. Santa Rosa de Surco –  
Santiago de Surco  
Lima – Cel +51 948012359  
Importador Distribuidor Autorizado

### Ficha Técnica PET

Químicamente el PET es un **polímero** que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales de condensación denominados poliésteres. El **tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilenotereftalato o polietileno tereftalato** (más conocido por sus siglas en inglés **PET**, *polyethylene terephthalate*) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles.

#### Propiedades de la hoja

- Excelente transparencia y brillo.
- **Excelente resistencia química.**
- Adecuado para aplicaciones en contacto con alimentos.
- **Cumple con las regulaciones FDA y BGA.**
- Alta resistencia a impactos y roturas.
- Termoformable. No requiere secado previo.
- Excelente resistencia al fuego. Baja generación de humo no tóxico.
- Recicable. Favorable al medio ambiente. Se quema sin liberar dioxinas en la atmósfera o sustancias tóxicas que puedan contaminar los vertederos.
- Reduce la transmisión de sonido .

#### Estabilidad térmica

- Los artículos fabricados con este producto no deben ser expuestos a la continua utilización en más de 65°C, de acuerdo a la aplicación.

#### Climatización

- La radiación ultravioleta componente en la radiación solar hace que la mayoría de los plásticos tienda a degradarse. Esta degradación depende de las condiciones de exposición, es decir la duración real de la exposición, el ángulo de la hoja con respecto a la incidencia de la radiación solar y la temperatura, humedad e intensidad de la radiación (coordenadas geográficas). La degradación se manifiesta por un amarillamiento progresivo, una disminución de la transmisión de luz y una pérdida de propiedades mecánicas.
- La lámina de PET no está protegida contra los efectos de la intemperie, aunque el material en sí posee una cierta resistencia a condiciones de la intemperie y puede por lo tanto ser utilizado para aplicaciones al aire libre en el que la hoja esta no permanentemente expuesto a la radiación.
- Para aplicaciones externas donde la lámina está sujeta a luz ultravioleta, se recomienda un producto estabilizado , PET-UV . PET-UV está protegido en ambos lados de la hoja y tiene una garantía limitada por 10 años.
- En externas aplicaciones, ambas películas de protección deben ser removidos de inmediato , ya que, si que están expuestos a la luz solar ellas pueden quedarse permanentemente unidos a la hoja.

#### Figura 24 Ficha técnica del PET

Fuente: Obtenido de (Worldfy, 2020).

**Tabla 20** *Propiedades técnicas de tereftalato de polietileno (PET)*

PERU EN TI ALIMENTOS Y SERVICIOS SAC  
 Calle Don Pompeyo 164 Apto 101 Urb. Santa Rosa de Surco –  
 Santiago de Surco  
 Lima – Cel +51 948012359  
 Importador Distribuidor Autorizado

**CARACTERISTICAS DEL PET**

	METODO	UNIDAD	VALORES FISICOS
Densidad	ISO 1183	g.cm-3	1.35
<b>MECANICAS</b>			
Fuerza de Tensión @ Rendimiento	ISO 527	Mpa	
Fuerza de Tensión @ Quiebre	ISO 527	Mpa	No quiebre
Elongación @ Quiebre	ISO 527	%	>200
Módulo de elasticidad a la tracción	ISO 527	Mpa	2420
Fuerza Flexible	ISO 178	Mpa	86
Resistencia al impacto con muescas Charpy	ISO 179	kJ.m-2	(*)
Charpy sin muescas	ISO 179	kJ.m-2	
Escala M/R de dureza Rockwell sin rotura			(*)/111
Ball Indentation	ISO 2039	Mpa	117
<b>OPTICAL</b>			
Transmisión de Luz		%	89*
Indice de refracción			1,576
<b>Termica</b>			
Temperatura máxima de servicio		°C	60
Vicat Softening Point - 10N	ISO 306	°C	79
Vicat Softening Point - 50N	ISO 306	°C	75
75 HDT A @ 1.8 Mpa	ISO 75-1,2	°C	69
75 HDT A @ 0.45 Mpa	ISO 75-1,2	°C	73
Coeficiente de Expansión Termo lineal		X10-5 . °C-1	<6
<b>RESISTENCIA QUIMICA</b>			
	BEHAVIOUR		
	GOOD	LIMITED	POOR
Mineral Oil (*)	X		
Vegetable Oil (*)	X		
Acetone (*)			X

Fuente: Obtenido de (Worldfy, 2020).

Donde la gravedad específica es:

$$GS_{pet} = \frac{\rho_{material}}{\rho_{agua}} = \frac{1.35 \frac{g}{cm^3}}{1.0 \frac{g}{cm^3}} = 1.350$$

## B) Granos de neumático molido (GNM)

De la misma manera los granos de neumático en fuera uso es un polímero elastomérico, el valor de las propiedades físicas y químicas están mostradas en la tabla 22 se muestran su ficha técnica.

**Tabla 21** Ficha técnica de granulado de neumáticos usados

	<b>CAUCHO GRANULADO</b>	
	<b>GRANULADO DE NEUMATICOS USADOS</b>	

### FICHA TECNICA

**1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO:**  
**GRANULADO DE NEUMATICOS USADOS - CAUCHO GRANULADO**

CODIGO DEL PRODUCTO: CGP0051

**2. DESCRIPCION DEL PRODUCTO**

Gránulos y polvo de caucho vulcanizado procedente de la trituración mecánica a temperatura ambiental, de neumáticos fuera de uso.

COMPOSICION /COMPONENTE	DESCRIPCION
Caucho vulcanizado (%)	< 0,10 para tamaños de caucho superiores a 6mm.
Materiales ferromagnéticos (%)	< 0,01 para tamaños de caucho inferiores o iguales a 6mm.
Materiales textiles (%)	< 0,05
Otros materiales (%)	< 0,05

**3. CAMPOS DE APLICACION.**

Asfaltos modificados	Mezclas Bituminosas
Cargas elastoméricas: (Hormigón; másticos bituminosos; poliuretanos)	Relleno de campos de césped artificial de nueva generación
Campos de golf	Losetas
Aislamientos acústicos	Preformados
Bases elásticas para pavimentos deportivos y de seguridad	Hipódromos
Pavimentos en continuo (sin juntas)	Rellenos obra civil
Topes de parqueos	Rompe velocidades
Productos moldeados	Mezclas con caucho
Mezclas con plásticos	Pinturas

Fuente: Obtenido de (Guzmán, 2016).

**Tabla 22** *Propiedades físicas y químicas de granos de neumático molido (GNM)*

	<b>CAUCHO GRANULADO</b>	
	<b>GRANULADO DE NEUMATICOS USADOS</b>	

**4. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.**

PROPIEDADES FISICAS	DESCRIPCION
Forma	Sólidos en forma de granulados y polvo.
Color	Negro
Olor	Caucho característico
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	0.913
Humedad (%)	< 0.75
Punto de combustión (°C)	300 - 450
PROPIEDADES QUIMICAS	DESCRIPCION
Extracto cetónico (%)	5,00 – 22,00
Contenido en cenizas (%)	7,00 – 11,00
Contenido en polímeros NR/SR (%)	70/30 – 60/40
Contenido de negro de humo (%)	26,00 – 38,00
Contenido de caucho natural (%)	10,00 – 35,00
Contenido en hidrocarburo de caucho (%)	57,00 - 58,00
Contenido de Plomo (mg/kg)	< 0.03
Azufre (%)	1,0 – 7,00
pH (25°C)	8,12 – 8,20
Solubilidad	Insoluble en agua, parcialmente soluble en acetona.

**5. TIPO DE PRODUCTO**

DENOMINACION COMERCIAL	GRANULOMETRIA (mm)
CAUCHO GRANULADO	2 – 6



Fuente: Obtenido de (Guzmán, 2016).

Donde la gravedad específica es:

$$G_{s_{gnm}} = \frac{\rho_{material}}{\rho_{agua}} = \frac{0.913 \frac{g}{cm^3}}{1.0 \frac{g}{cm^3}} = 0.913$$

### 3.10.5 Ensayos en el cemento asfáltico 120/150 (repsol-refinería la Pampilla)

Los ensayos de penetración, ductilidad, volatilidad, fluidez, película fina, solubilidad y otros se tomaron del reporte de análisis de cemento asfáltico PEN 120/150 como se muestra en la

tabla 23, cuyo lote es N°.120/150-001-09-2021, de la Refinería la Pampilla S.A.A, (carretera a ventanilla km 25 S/N Ventanilla).

Información del cemento asfáltico usado en la tesis:

- Clase de producto : Asfalto sólido.
- Tipo de producto : Cemento asfáltico.
- Nombre del producto: Asfalto sólido 120/150 PEN
- Procedencia : Nacional (proporcionado por la empresa Repsol)

**Tabla 23** *Propiedades del cemento asfáltico PEN 120/150 (Repsol)*

PROPIEDADES	METODOS ASTM/OTROS	RESULTADO
<b>PENETRACION</b>		
Penetración a 25°C, 100 g, 5s, 1/10 mm	D5/AASHTO T49	134
<b>DUCTILIDAD</b>		
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D113/AASTHO T51	>105
<b>VOLATILIDAD</b>		
Gravedad específica a 15.6°C/15.6°C	D70/AASHTO T228	1.0190
Punto de inflamación, °C	D92/AASHTO T48	301.0
Gravedad API, °API	D70/AASHTO T 228	7.4
<b>FLUIDEZ</b>		
Punto de ablandamiento, °C	D36	42.2
Viscosidad cinemática a 100°C	D445	1867
Viscosidad cinemática a 135°C	D170/AASHTO T 201	258
<b>ENSAYOS DE PELICULA FINA</b>		
Pérdida por calentamiento, % m	D 1754/ AASHTO T 179	0.30
Penetración retenida, 100g, 5s, 1/10 mm, % del original	D5/AASHTO T 49	59.7
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm	D113/AASHTO T 51	> 105
<b>SOLUBILIDAD</b>		
Solubilidad en tricloroetileno, % m	D2042/AASHTO T44	99.98
<b>OTROS</b>		
Índice de penetración	UNE-EN 12591	-0.8
Ensayo de la mancha (Nafta-Xileno)	AASHTO T 102	20% xileno, negativo

Fuente: Obtenido del reporte de análisis de C.A PEN 120/150 (Repsol, Refinería la Pampilla S.A.A).

Para la presente investigación se toma el valor de la gravedad específica = 1.019

### 3.10.6 Análisis granulométrico de los agregados

Se realiza el análisis granulométrico de los agregados de la cantera Allccomachay en laboratorio de la empresa Ingeotecon, en la ciudad de Ayacucho.

#### A) Análisis granulométrico de la piedra chancada

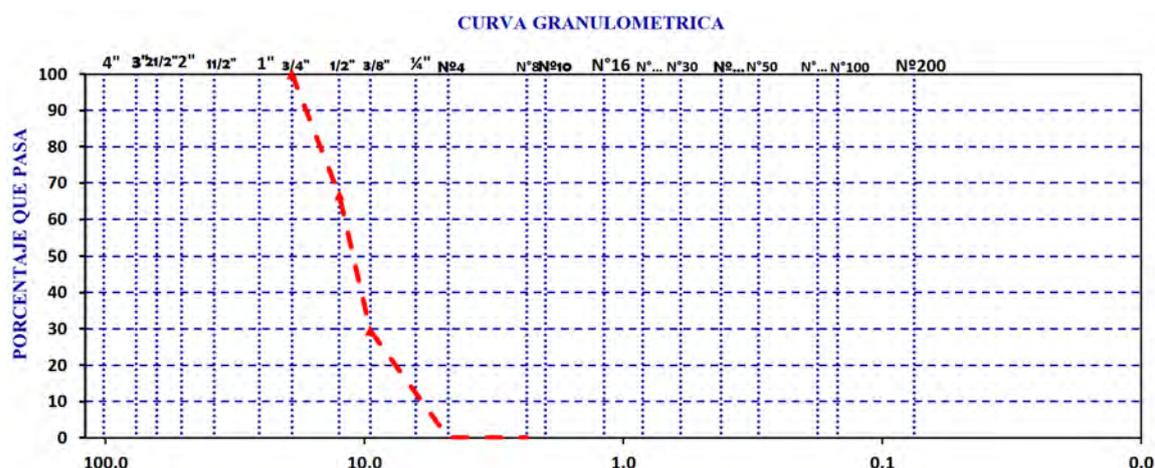
En la tabla 24, se muestra el promedio de la granulometría de la piedra chancada, los husos granulométricos usados tienen como referencia el diseño MAC-2.

**Tabla 24** Granulometría de la piedra chancada

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA						
ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRAVA TRITURADA						
MTC E 107						
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLÍMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"						
Tesisista : Danny Rojas Quinto			Departamento : Ayacucho			
Material : Piedra Chancada Para Mezcla de Asfalto en Caliente			Provincia : Huanta			
Cantera : Allccomachay			Distrito : Huanta			
Muestreo : Material en Acopio			Lugar : Allccomachay			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	MUESTRA
4"	101.600					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					Peso Total
2"	50.800					17766.5 g
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050				100.0	
1/2"	12.500	5937.3	33.4	33.4	66.6	
3/8"	9.500	6576.5	37.0	70.4	29.6	
1/4"	6.350					
Nº4	4.750	5252.8	29.6	100.0	0.0	
Nº8	2.360			100.0		
< Pasante	2.000					

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 25, se realiza la representación de la curva granulométrica de la piedra chancada.



**Figura 25** Curva granulométrica de la piedra chancada

Fuente: Elaboración propia.

## B) Análisis granulométrico de la arena chancada

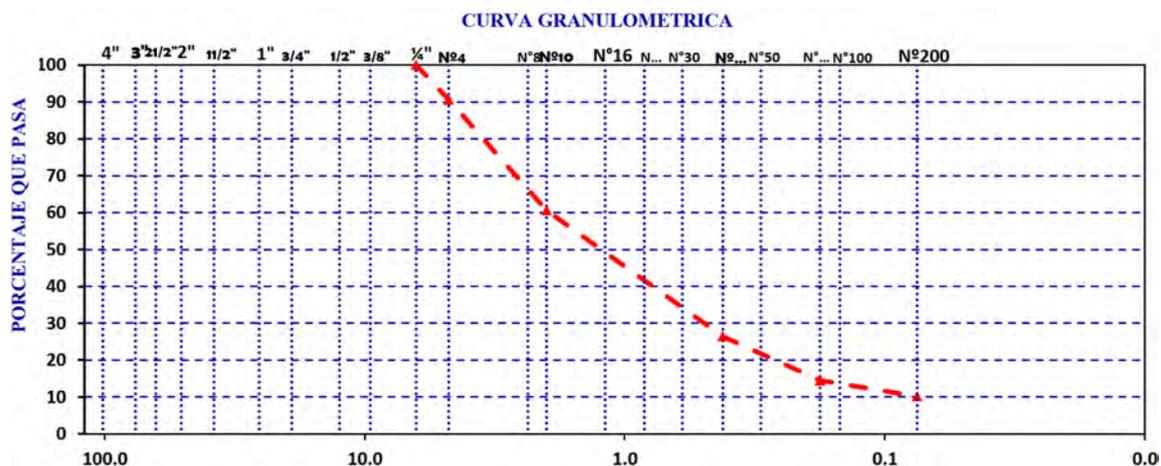
En la tabla 25, se muestra el promedio de la granulometría de la arena chancada, los husos granulométricos usados tienen como referencia el diseño MAC-2.

**Tabla 25** Granulometría de la arena chancada

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA						
ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARENA CHANCADA						
MTC E 107						
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLÍMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"						
Tesista	: Danny Rojas Quinto			Departamento	: Ayacucho	
Material	: Arena Chancada Para Mezcla de Asfalto en Caliente			Provincia	: Huanta	
Cantera	: Allecomachay			Distrito	: Huanta	
Muestreo	: Material en Acopio			Lugar	: Allecomachay	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	
4"	101.600					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					Peso total
1 1/2"	38.100					4195.5
1"	25.400					g
3/4"	19.050					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500					
1/4"	6.350				100.0	
Nº4	4.750	396.1	9.4	9.4	90.6	
Nº8	2.360				90.6	
Nº10	2.000	1256.3	29.9	39.4	60.6	
Nº16	1.190					
Nº20	0.840					
Nº30	0.600					
Nº40	0.420	1434.5	34.2	73.6	26.4	
Nº50	0.300					
Nº80	0.177	499.8	11.9	85.5	14.5	
Nº100	0.149					
Nº200	0.075	183.9	4.4	89.9	10.1	
< Nº 200		425.0	10.1	100.0		

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26, se realiza la representación de la curva granulométrica de la arena chancada.



**Figura 26** Curva granulométrica de la arena chancada

Fuente: Elaboración propia.

### C) Análisis granulométrico de la arena zarandeada

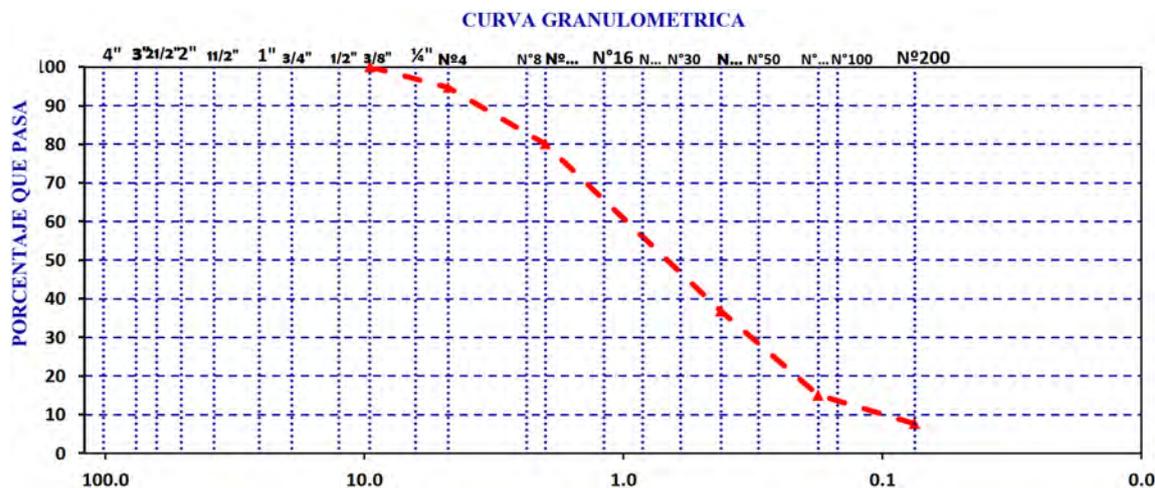
En la tabla 26, se muestra el promedio de la granulometría de la arena zarandeada, los husos granulométricos usados tienen como referencia el diseño MAC-2.

**Tabla 26** Granulometría de la arena zarandeada

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA						
ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARENA ZARANDEADA						
MTC E 107						
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLÍMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"						
Tesista	: Danny Rojas Quinto			Departamento : Ayacucho		
Material	: Arena Zarandeada para Mezcla de Asfalto en Caliente			Provincia : Huanta		
Cantera	: Allccomachay			Distrito : Huanta		
Muestreo	: Material en Acopio			Lugar : Allccomachay		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	MUESTRA
4"	101.600					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					Peso Total   3424.9   g
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500				100.0	
1/4"	6.350					
Nº4	4.750	181.0	5.3	5.3	94.7	
Nº8	2.360					
Nº10	2.000	501.4	14.6	19.9	80.1	
Nº16	1.190					
Nº20	0.840					
Nº30	0.600					
Nº40	0.420	1482.0	43.3	63.2	36.8	
Nº50	0.300					
Nº80	0.177	743.5	21.7	84.9	15.1	
Nº100	0.149					
Nº200	0.075	255.0	7.5	92.4	7.6	
< Nº 200		262.0	7.7	100.0		

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 27, se realiza la representación de la curva granulométrica de la arena zarandeada.



**Figura 27** Curva granulométrica de la arena chancada

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.7 Combinación teórico de diseño de asfalto convencional MAC 2

Para realizar la combinación granulométrica se utiliza el huso de gradación MAC-2, que se muestra en la siguiente tabla 27

**Tabla 27** Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9.5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4.75 mm (N°4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N°10)	29-45	38-52	43-61
425 $\mu\text{m}$ (N°40)	14-25	17-28	16-29
180 $\mu\text{m}$ (N°80)	8-17	8-17	9-19
75 $\mu\text{m}$ (N°200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: obtenido de (MTC, 2013)

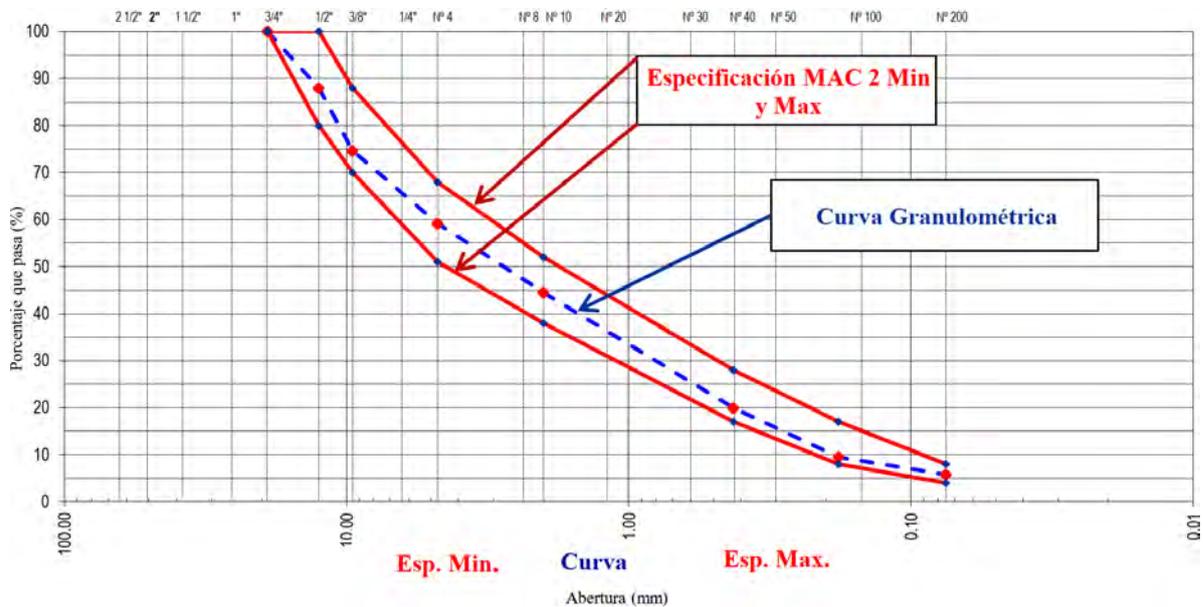
Como ya realizamos la granulometría de la piedra chancada, arena chancada y arena zarandeada, se realiza la combinación de los agregados, para saber en que porcentaje aportan cada material en el diseño de mezcla asfáltica convencional. Se presenta en la siguiente tabla 28 la combinación granulométrica.

**Tabla 28** Combinación teórico de diseño de asfalto concencional MAC-2.

Tamiz	Aber. (mm)	Agregados						%Ret. Parc. Combinación	%Ret. AC.	% Pasa	Espec. MAC-2	
		Grava Chancada % Promedio Retenido		Arena Chancada % Promedio Retenido		Arena Zarandeado % Promedio Retenido						
		% De Combinación		% De Combinación		% De Combinación						
		36	% Ret. En Mezcla	35	% Ret. En Mezcla	29	% Ret. En Mezcla					
3"	76.200							100.0				
2 1/2"	63.500											
2"	50.800											
1 1/2"	37.500											
1"	25.000											
3/4"	19.000									100.0	100	100
1/2"	12.500	33.5	12.1					12.1	12.1	87.9	80	100
3/8"	9.500	37.0	13.3					13.3	25.4	74.6	70	88
1/4"	6.350											
Nº 4	4.750	29.5	10.6	9.4	3.3	5.3	1.5	15.5	40.8	59.2	51	68
Nº 8	2.360			0.0								
Nº 10	2.000			29.9	10.5	14.6	4.2	14.7	55.5	44.5	38	52
Nº 16	1.190											
Nº 20	0.840											
Nº 30	0.600											
Nº 40	0.425			34.2	12.0	43.3	12.5	24.5	80.0	20.0	17	28
Nº 50	0.300											
Nº 80	0.180			11.9	4.2	21.7	6.3	10.5	90.5	9.5	8	17
Nº 100	0.150											
Nº 200	0.075			4.4	1.5	7.5	2.2	3.7	94.2	5.8	4	8
<Nº 200				10.1	3.5	7.7	2.2	5.8	100.0			
		100	36.00	100.00	35.00	100.00	29.00	100				

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28, se presenta la curva granulométrica de los agregados combinados, la cual se dentro de los límites de las especificaciones MAC 2 mínimo y máximo.

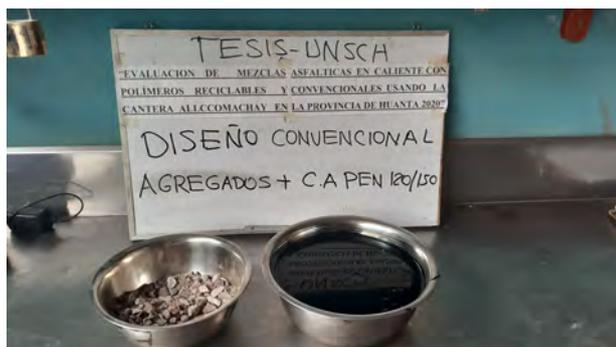


**Figura 28** Gradación de agregados para el huso MAC-2.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.8 Diseño de las mezclas asfálticas en caliente convencionales

Para realizar este diseño se usan los siguientes componentes como se muestra el figura 29:



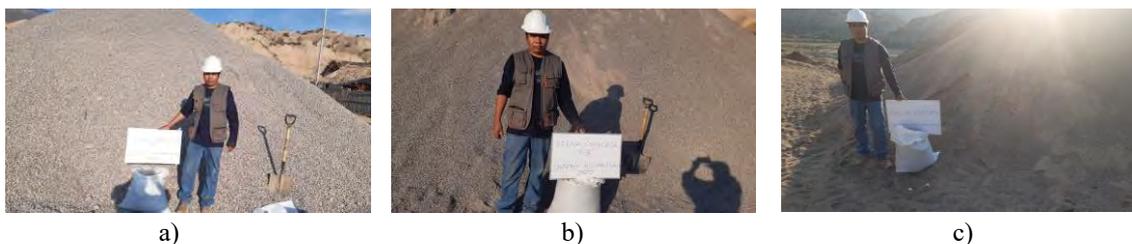
**Figura 29** Diseño convencional con agregados pétreos y cemento asfáltico  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.8.1 Preparación de muestras

Para realizar la briquetas se siguen los siguientes procedimientos:

#### A) Recojo de materiales en cantera

Se realiza el recojo y traslado de materiales al laboratorio ingeotecon.



**Figura 30** Recojo de agregados en cantera. a) piedra chancada, b) arena chancada, arena zarandeada  
Fuente: Elaboración propia.

#### B) Tamizado de materiales

Se usa el huso granulométrico MAC-2, donde los tamices usados se presentan en la siguiente tabla 29:

**Tabla 29** Tamiz usado en los agregados

Piedra chancada	Tamices	
	Arena chancada	Arena zarandeada
3/4"	N°4	N°4
1/2"	N°10	N°10
3/8"	N°40	N°40
N°4	N°80	N°80
	N°200	N°200

Fuente: Elaboración propia.

Se usan estos tamices, y se almacena los materiales en unos costales en un ambiente seco.



(a) Tamizado de materiales.



(b) Materiales tamizados en costales.

**Figura 31** Tamizado de agregados en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

### C) Secado de materiales

Se realiza el secado de materiales hasta conseguir un peso constante a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$ , y de esta manera se asegura que no varíen al momento de realizar los pastones, para este procedimiento se usan cocinas a gas y horno eléctrico como se muestran en las figura 32.



(a) Secado a cocina.



(b) Secado a horno eléctrico.

**Figura 32** Secado de materiales.

Fuente: Elaboración propia

#### 3.10.8.2 Diseño de pastones para mezcla asfáltica convencional

De la combinación teórico de diseño de mezcla asfáltica convencional tenemos los porcentajes de cada material:

- Piedra chancada = 36%
- Arena Chancada = 35%
- Arena zarandeada = 29%

Se realizan los pastones de diseño para C.A = 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%, las cuales podemos ver en las siguientes tablas 30, 31, 32, 33 y 34 respectivamente.

**Tabla 30** *Pastón C.A = 5.0% (DC-1, DC-2, DC-3)*

Pastón	% C.A	% Agregados	Peso C.A	P. Agregados	P. Polímeros
1200	5.00%	95.00%	60 g	1140 g	0
Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	PET	GNM
3/4" - 1/2"	137.4				
1/2" - 3/8"	151.8				
3/8" - N°4	121.1	37.6	17.5	0	0
N°4 - N°10		119.4	48.1	0	0
PASA N°10		242.0	265.0	0	0
Parcial	410.40	399.00	330.60		
				Total =	1140.00

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 31** *Pastón C.A = 5.5% (DC-4, DC-5, DC-6)*

Pastón	% C.A	% Agregados	Peso C.A	P. Agregados	P. Polímeros
1200	5.50%	94.50%	66 g	1134 g	0
Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	PET	GNM
3/4" - 1/2"	136.7				
1/2" - 3/8"	151.0				
3/8" - N°4	120.5	37.4	17.4	0	0
N°4 - N°10		118.8	47.9	0	0
PASA N°10		240.7	263.6	0	0
Parcial	408.24	396.90	328.86		
				Total =	1134.00

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 32** *Pastón C.A = 6.0% (DC-7, DC-8, DC-9)*

Pastón	% C.A	% Agregados	Peso C.A	P. Agregados	P. Polímeros
1200	6.00%	94.00%	72 g	1128 g	0
Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	PET	GNM
3/4" - 1/2"	136.0				
1/2" - 3/8"	150.2				
3/8" - N°4	119.9	37.2	17.3	0	0
N°4 - N°10		118.2	47.6	0	0
PASA N°10		239.4	262.2	0	0
Parcial	406.08	394.80	327.12		
				Total =	1128.00

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 33** Pastón C.A = 6.5% (DC-10, DC-11, DC-12)

Pastón	% C.A	% Agregados	Peso C.A	P. Agregados	P. Polímeros
1200	6.50%	93.50%	78 g	1122 g	0
Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	PET	GNM
3/4" - 1/2"	135.3				
1/2" - 3/8"	149.4				
3/8" - N°4	119.2	37.0	17.2	0	0
N°4 - N°10		117.5	47.4	0	0
PASA N°10		238.1	260.8	0	0
Parcial	403.92	392.70	325.38		
				Total =	1122.00

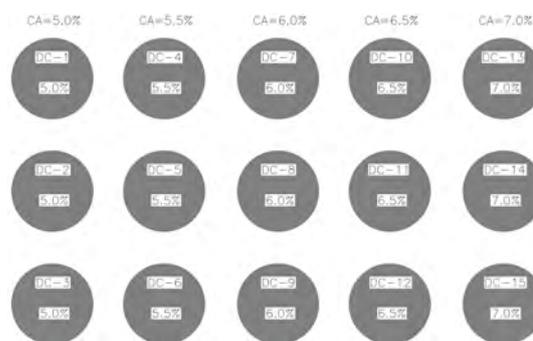
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 34** Pastón C.A = 7.0% (DC-13, DC-14, DC-15)

Pastón	% C.A	% Agregados	Peso C.A	P. Agregados	P. Polímeros
1200	7.00%	93.00%	84 g	1116 g	0
Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	PET	GNM
3/4" - 1/2"	134.5				
1/2" - 3/8"	148.6				
3/8" - N°4	118.6	36.8	17.1	0	0
N°4 - N°10		116.9	47.1	0	0
PASA N°10		236.9	259.4	0	0
Parcial	401.76	390.60	323.64		
				Total =	1116.00

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el pesaje de cada material y se calienta en horno, para su mezclado y compactación.

**(a)** Pastones pesados.**(b)** Denominación de briquetas convencionales**Figura 33** Pastones para diseño convencional.

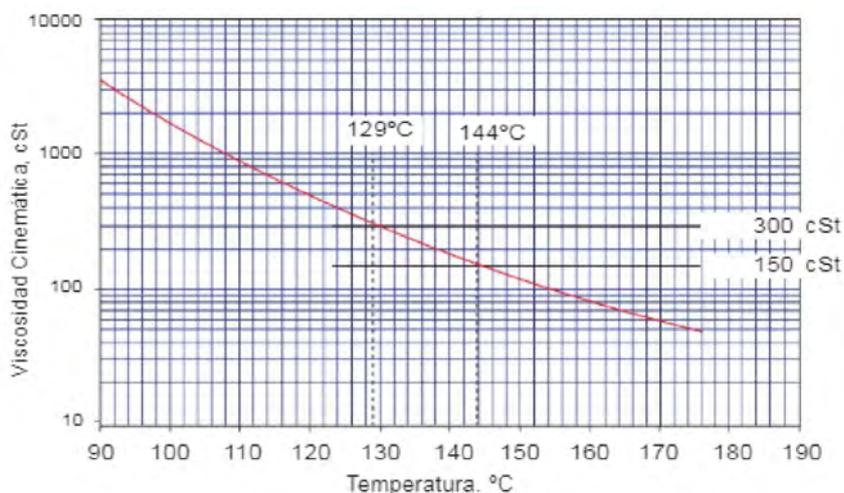
Fuente: Elaboración propia

### 3.10.8.3 Elaboración de briquetas de diseño convencional

#### A) Mezclado y compactación de mezcla asfáltica

Se calientan los agregados y el cemento asfáltico a 154°C y se realiza el mezclado de la mezcla asfáltica a a 144°C y la compactación a 129°C según la carta de viscosidad-temperatura del

C.A usado.



**Figura 34** Carta viscosidad - temperatura C.A PEN 120/150

Fuente: obtenido de (Petroperú, 2020).

De igual manera se calientan todos los materiales que intervienen en la elaboración de la briqueta como los moldes, el martillo compactador, el cucharón, las charolas, etc. Como se puede ver en la siguiente figuras 35 y 36.



**(a)** Se calientan los moldes y martillo de compactación.



**(b)** Adición del cemento asfáltico.

**Figura 35** Mezclado y compactación .

Fuente: Elaboración propia



**(a)** Mezclado de mezcla asfáltica.



**(b)** Compactación de mezcla asfáltica.

**Figura 36** Mezclado y compactación .

Fuente: Elaboración propia

Las briquetas se fabrican en un recipiente hasta obtener una mezcla homogénea del agregado

completamente recubierto por el ligante asfáltico.

Las briquetas se deben preparar en los moldes, para luego ser compactadas manualmente 75 golpes por cada cara, en un tiempo no superior a 90 segundos.

De igual manera se calientan todo material que intervienen en la elaboración de la briqueta como los moldes, el martillo compactador, el cucharón, las charolas, etc. Se realiza la compactación de 75 golpes por cada lado de la briqueta como se muestra en la figura 37, en un tiempo de 90 segundos por cada lado.



(a) Mezclado de mezcla asfáltica.



(b) Compactación de mezcla asfáltica.

**Figura 37** Mezclado y compactación .

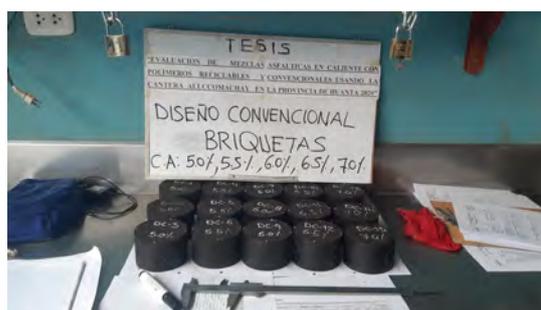
Fuente: Elaboración propia

## B) Extracción y medida de las alturas de las briquetas

Se deja reposar las briquetas hasta que enfríen a temperatura ambiente, en esta investigación se dejó enfriar 24 horas para extraer. Se debe extraer las muestras con mucho cuidado sin dañar las briquetas como en la siguiente figura 38.



(a) Extracción de briquetas



(b) Medida de las alturas de las briquetas

**Figura 38** Extracción y medida de altura de las briquetas convencionales.

Fuente: Elaboración propia

Se muestran las medidas de las alturas de las briquetas convencionales en la tabla 35 , que sirven para hallar el factor de estabilidad.

**Tabla 35** Alturas de briquetas convencionales

C.A	Briqueta	h1	h2	h3	h4	Altura Promedio
5.0%	DC-1	62.70	67.40	67.10	62.50	64.9
	DC-2	62.25	66.35	63.90	65.55	64.5
	DC-3	63.05	66.20	66.85	63.10	64.8
5.5%	DC-4	63.95	64.90	65.00	63.50	64.3
	DC-5	64.95	63.80	66.65	62.60	64.5
	DC-6	65.05	63.00	66.60	63.15	64.5
6.0%	DC-7	64.50	63.20	65.40	62.50	63.9
	DC-8	64.65	64.90	63.20	66.25	64.8
	DC-9	63.55	65.00	64.40	63.60	64.1
6.5%	DC-10	62.95	64.55	62.70	64.00	63.6
	DC-11	63.90	62.90	64.00	62.50	63.3
	DC-12	63.15	64.45	63.40	63.60	63.7
7.0%	DC-13	63.75	63.90	63.40	64.40	63.9
	DC-14	63.20	64.10	64.00	63.05	63.6
	DC-15	63.30	64.35	63.90	63.75	63.8

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.10.8.4 Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)

Se determina la densidad real de las briquetas de mezcla asfáltica compactada, primero la briqueta se pesa al aire en condición seca, en segundo lugar se pesa la muestra sumergida en agua  $T^{\circ}\text{C}=25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y por último se pesa saturada superficialmente seca, como se muestra en el siguiente figura 39



**Figura 39** a) Peso de briqueta al aire en condición seca, b) Peso de briqueta saturada superficialmente seca, c) Peso de briqueta sumergida en agua.

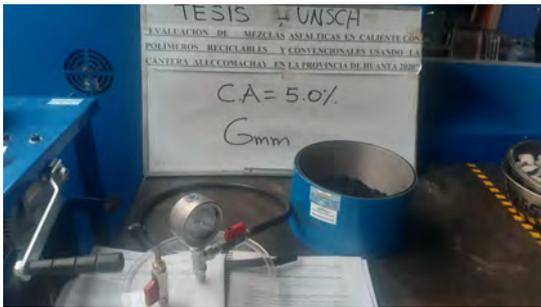
Fuente: Elaboración propia.

#### 3.10.8.5 Peso específico máxima teórica (RICE)

Se realiza el ensayo rice para cada porción del cemento asfáltico = 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% como se muestra en la figura 40. Este parámetro es muy importante para hallar las propiedades volumétricas del diseño que está realizando.

- En primer lugar se pesa la muestra al aire en una balanza, seguidamente se coloca la muestra en el picnómetro.
- Al picnómetro que está con la muestra se le adiciona agua a una  $T=25^{\circ}\text{C}$ , se le tapa y se instala para comenzar con el ensayo rice.

- Se coloca una presión de vacío de 27.5mmHg  $\pm$  2.5mmHg, durante 15 minutos.



(a) Baño maría de briquetas.



(b) Ensayo de estabilidad y fluencia.

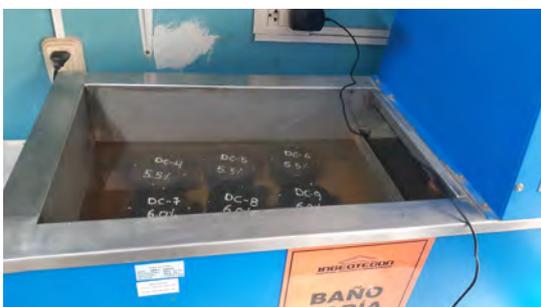
**Figura 40** Ensayo Marshall de diseño convencional

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.8.6 Ensayo de estabilidad y fluencia Marshall

Se realiza el ensayo Marshall con el equipo automático que cuenta la empresa Ingeotecon.

- En primer lugar se ponen las briquetas en un baño de agua maría a una temperatura de  $T=60\pm 1^\circ\text{C}$ , por un periodo de 30 a 40 minutos. Las mordazas del equipo Marshall deben estar a una temperatura de  $T=25^\circ\text{C}$  para realizar el ensayo.
- Luego se saca la briqueta del baño maría, se seca con una toalla, y se colocan en la mordazas del equipo Marshall.
- Con la muestra colocada en el equipo se somete una carga a una velocidad de  $50\pm 1$  mm/minuto hasta que se produzca la falla. El tiempo que debe pasar entre sacar la briqueta del baño maría y ejecutar el ensayo debe ser en 30 segundos como se muestra en la figura 41, este aspecto es muy importante.
- Finalmente se obtienen los parámetros de estabilidad (carga máxima) y fluencia (deformación a carga máxima).



(a) Baño maría de briquetas convencionales.



(b) Ensayo de estabilidad y fluencia.

**Figura 41** Ensayo Marshall de diseño convencional

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.9 Diseño de las mezclas asfálticas en caliente modificadas

#### 3.10.9.1 Análisis granulométrico de polímeros reciclables

##### A) Análisis granulométrico del tereftalato de polietileno (PET)

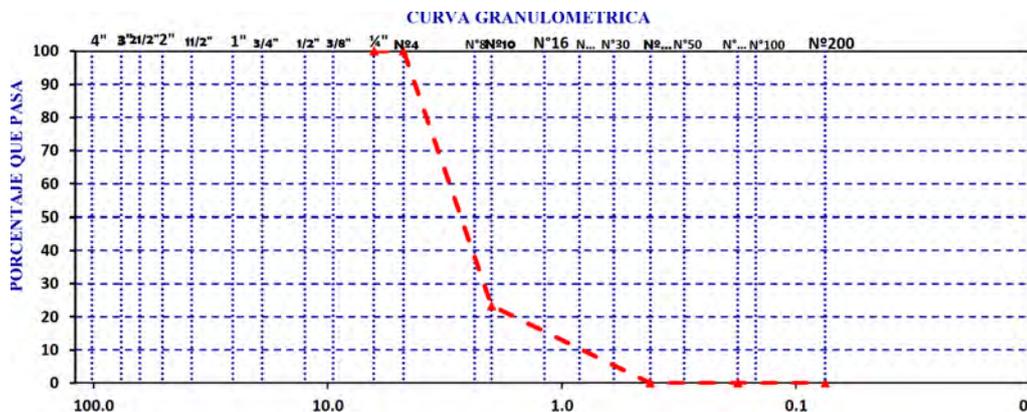
En la tabla 36, se muestra el promedio de la granulometría del tereftalato de polietileno, los husos granulométricos usados tienen como referencia el diseño MAC-2.

**Tabla 36** Granulometría del tereftalato de polietileno (PET).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA						
ANALISIS GRANULOMETRICO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)						
MTC E 107						
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLÍMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"						
Tesista	: Danny Rojas Quinto			Departamento	: Ayacucho	
Material	: Tereftalato de Polietileno (PET)			Provincia	: Huanta	
Muestreo	: Material residual de botellas plásticas			Distrito	: Huanta	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	
4"	101.600					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					Peso total
2"	50.800					825.9
1 1/2"	38.100					g
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500					
1/4"	6.350				100.0	
Nº4	4.750		0.0	0.0	100.0	
Nº8	2.360				100.0	
Nº10	2.000	633.0	76.6	76.6	23.4	
Nº16	1.190					
Nº20	0.840					
Nº30	0.600					
Nº40	0.420	193.0	23.4	100.0	0.0	
Nº50	0.300					
Nº80	0.177		0.0	100.0	0.0	
Nº100	0.149					
Nº200	0.075		0.0	100.0	0.0	
< Nº 200		0.0	0.0	100.0		

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 42, se realiza la representación de la curva granulométrica del PET.



**Figura 42** Curva granulométrica del PET

Fuente: Elaboración propia.

## B) Análisis granulométrico de granos de neumático molido (GNM)

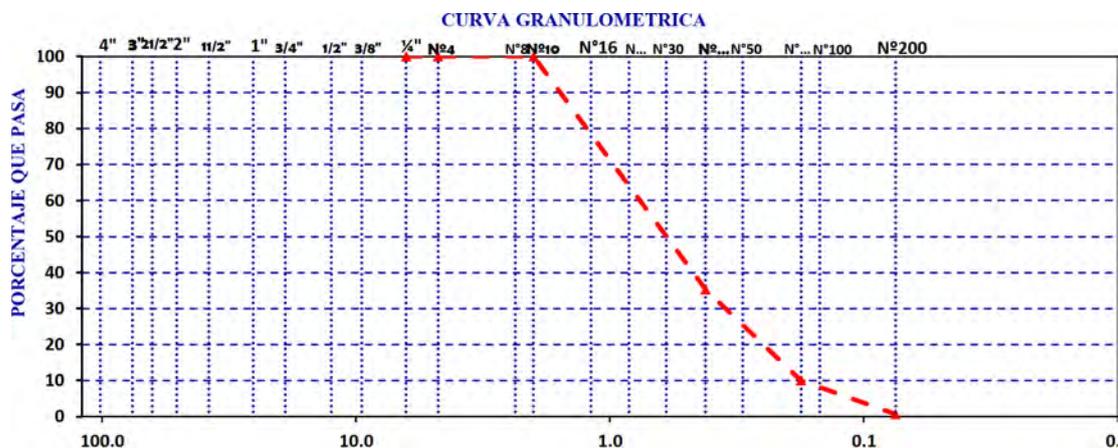
En la tabla 37, se muestra el promedio de granos de neumático molido (GNM), los husos granulométricos usados tienen como referencia el diseño MAC-2.

**Tabla 37** Granulometría de granos de neumático molido (GNM).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA						
ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRANOS DE NEUMATICO MOLIDO (GNM)						
MTC E 107						
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLÍMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"						
Tesista	: Danny Rojas Quinto			Departamento	: Ayacucho	
Material	: Granos de Neumático Molido (GNM)			Provincia	: Huanta	
Muestreo	: Material residual de neumáticos de vehículos			Distrito	: Huanta	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	
4"	101.600					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					Peso total
2"	50.800					763.9
1 1/2"	38.100					g
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500					
1/4"	6.350				100.0	
Nº4	4.750		0.0	0.0	100.0	
Nº8	2.360				100.0	
Nº10	2.000		0.0	0.0	100.0	
Nº16	1.190					
Nº20	0.840					
Nº30	0.600					
Nº40	0.420	494.5	64.7	64.7	35.3	
Nº50	0.300					
Nº80	0.177	193.0	25.3	90.0	10.0	
Nº100	0.149					
Nº200	0.075	71.4	9.4	99.4	0.7	
< Nº 200		5.0	0.7	100.0		

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 43, se realiza la representación de la curva granulométrica de GNM.



**Figura 43** Curva granulométrica de GNM.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.9.2 Combinación teórico de diseño de asfalto modificado MAC 2

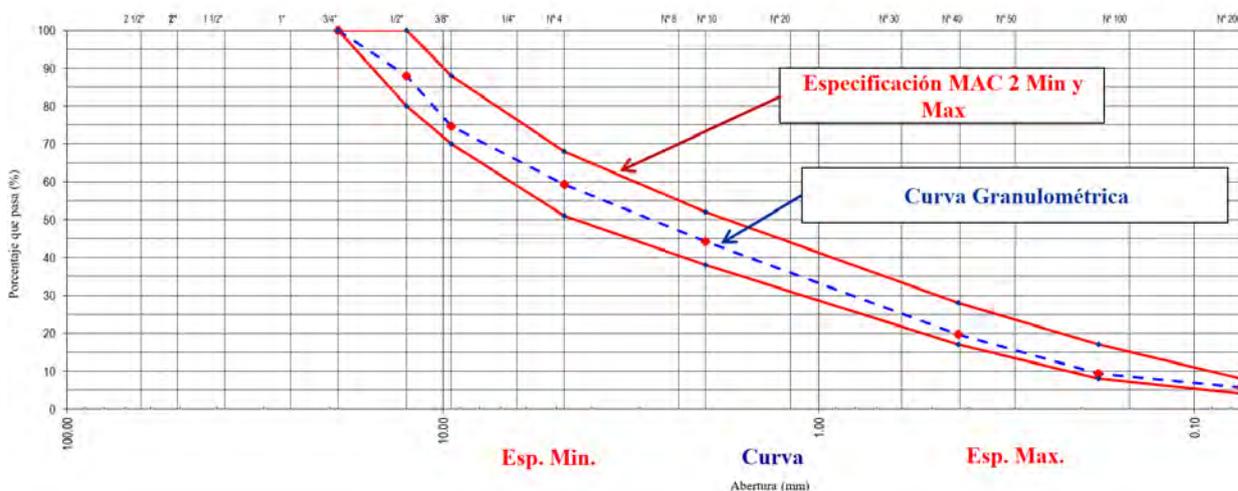
Al realizar la granulometría de la piedra chancada, arena chancada y arena zarandeada, tereftalato de polietileno (PET) y granos de neumático molido (GNM) se realiza la combinación de los materiales para diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada, se presenta en la siguiente tabla 38 de la combinación granulométrica.

**Tabla 38** Combinación teórico de diseño de asfalto modificada MAC-2.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MODIFICADO CON ADICION DE POLIMEROS RECICLABLES (1.5%) MAC-2															
Tamiz	Aber. (mm)	Grava Chancada % Promedio Retenido		Arena Chancada % Promedio Retenido		Arena Zarandeado % Promedio Retenido		PET (62.5%)		GNM (37.5%)		%Ret. Parc. Combinación	%Ret. AC.	% Pasa	ESPEC. MAC 2
		% De Combinación	% Ret. En Mezcla	% De Combinación	% Ret. En Mezcla	% De Combinación	% Ret. En Mezcla	% De Combinación	% Ret. En Mezcla	% De Combinación	% Ret. En Mezcla				
		36	34.25	28.25	0.9	0.6									
3"	76.200											100.0			
2 1/2"	63.500														
2"	50.800														
1 1/2"	37.500														
1"	25.000														
3/4"	19.000													100.0	100
1/2"	12.500	33.5	12.1									12.1	12.1	87.9	80
3/8"	9.500	37.0	13.3									13.3	25.4	74.6	70
1/4"	6.350														88
Nº 4	4.750	29.5	10.6	9.4	3.2	5.3	1.5					15.3	40.7	59.3	51
Nº 8	2.360			0.0											68
Nº 10	2.000			29.9	10.3	14.6	4.1	76.6	0.72			15.1	55.8	44.2	38
Nº 16	1.190														52
Nº 20	0.840														
Nº 30	0.600														
Nº 40	0.425			34.2	11.7	43.3	12.2	23.4	0.22	64.7	0.36	24.5	80.3	19.7	17
Nº 50	0.300														28
Nº 80	0.180			11.9	4.1	21.7	6.1			25.3	0.14	10.4	90.7	9.32	8
Nº 100	0.150														17
Nº 200	0.075			4.4	1.5	7.5	2.1			9.3	0.05	3.7	94.4	5.6	4
< Nº 200				10.1	3.5	7.7	2.2			0.7	0.004	5.6	100.00		8
		100	36.00	100.00	34.25	100.00	28.25	100.00	0.94	100.00	0.56	100.00			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 44, se presenta la curva granulométrica de los agregados combinados, la cual se encuentra dentro de los límites de las especificaciones MAC 2 mínimo y máximo para el diseño modificado.



**Figura 44** Gradación para el diseño modificado con adición de polímeros reciclables para el huso MAC-2.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.9.3 Diseño de mezcla asfáltica para polímeros reciclables (PET+GNM) = 0.5%

De la combinación teórico de diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables tenemos los porcentajes de cada material:

- Piedra chancada = 36%
- Arena chancada = 34.75%
- Arena zarandeada = 28.75%
- Polímeros reciclables = 0.5%

Para la realización de este diseño, se sigue el siguiente procedimiento en laboratorio.

- Calentar en horno eléctrico los agregados a 154°C.
- Calentar en horno eléctrico el cemento asfáltico PEN 120/150 A 154°C.
- Calentar en horno eléctrico los polímeros reciclables (PET Y GNM) a 154°C.

Tiempos de mezclado para el diseño modificado.

La temperatura de mezclado se realiza a 144°C, según la carta de viscosidad - temperatura, del cemento asfáltico 120/150 en el siguiente orden.

1. Mezclado de agregados + polímero (GNM) por 1 minuto.
2. Mezclado de agregados + polímero (GNM) + cemento asfáltico por 1 minuto.
3. Mezclado de agregados + polímero (GNM) + cemento asfáltico + polímero (PET) por 1 minuto.

En las siguientes tablas 39, 40, 41, 42 y 43 se presentan los pastones de diseño, para mezclas asfálticas modificadas con polímeros reciclables = 0.5%.

**Tabla 39** Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=30% + GNM=70%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	0.50%	99.50%	74.2 g	5.6 g	1120.2 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (0.5%)	
					PET (30%)	GNM (70%)
DM-1	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-2	3/8" - N°4	119.6	36.9	17.1		
	N°4 - N°10	0.0	117.1	47.1	1.3	
DM-3	PASA N°10		237.2	259.4	0.4	3.9
Parcial		405.3	391.2	323.7	1.7	3.9
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 40** Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=40% + GNM=60%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	0.50%	99.50%	74.2 g	5.6 g	1120.2 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (0.5%)	
					PET (40%)	GNM (60%)
DM-4	3/4" - 1/2" 1/2" - 3/8"	135.7 149.9				
DM-5	3/8" - N°4 N°4 - N°10	119.6 0.0	36.9 117.1	17.1 47.1	1.7	
DM-6	PASA N°10		237.2	259.4	0.5	3.4
Parcial		405.3	391.2	323.7	2.3	3.4
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 41** Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=50% + GNM=50%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	0.50%	99.50%	74.2 g	5.6 g	1120.2 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (0.5%)	
					PET (50%)	GNM (50%)
DM-7	3/4" - 1/2" 1/2" - 3/8"	135.7 149.9				
DM-8	3/8" - N°4 N°4 - N°10	119.6 0.0	36.9 117.1	17.1 47.1	2.2	
DM-9	PASA N°10		237.2	259.4	0.7	2.8
Parcial		405.3	391.2	323.7	2.8	2.8
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 42** Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=60% + GNM=40%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	0.50%	99.50%	74.2 g	5.6 g	1120.2 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (0.5%)	
					PET (60%)	GNM (40%)
DM-10	3/4" - 1/2" 1/2" - 3/8"	135.7 149.9				
DM-11	3/8" - N°4 N°4 - N°10	119.6 0.0	36.9 117.1	17.1 47.1	2.6	
DM-12	PASA N°10		237.2	259.4	0.8	2.3
Parcial		405.3	391.2	323.7	3.4	2.3
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 43** Pastón modificado con polímeros reciclables = 0.5%, (PET=70% + GNM=30%)

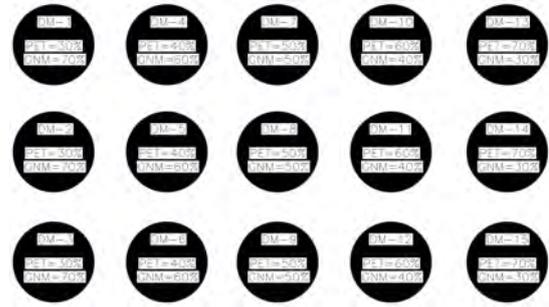
Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	0.50%	99.50%	74.2 g	5.6 g	1120.2 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (0.5%)	
					PET (70%)	GNM (30%)
DM-13	3/4" - 1/2" 1/2" - 3/8"	135.7 149.9				
DM-14	3/8" - N°4 N°4 - N°10	119.6 0.0	36.9 117.1	17.1 47.1	3.0	
DM-15	PASA N°10		237.2	259.4	0.9	1.7
Parcial		405.3	391.2	323.7	3.9	1.7
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura 45 se ve la preparación de los pastones con un cemento asfáltico óptimo = 6.18%, y polímeros reciclables = 0.5% con las diferentes variaciones de PET y GNM.



(a) Muestras con polímeros =0.5%



(b) Denominación de briquetas modificadas

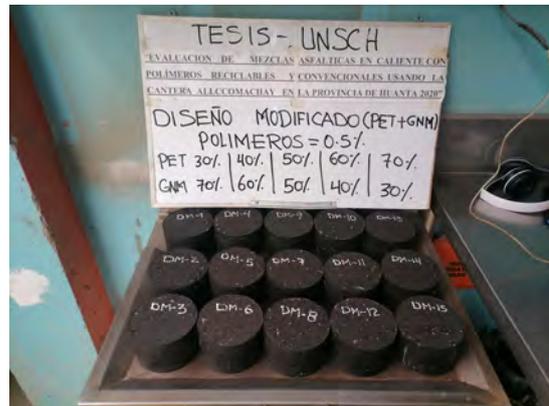
**Figura 45** Pastones con adición de polímeros = 0.5%

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 46 se tiene la mezcla asfáltica compactada y desmoldada.



(a) Briquetas compactadas



(b) Briquetas desmoldadas

**Figura 46** Briquetas compactadas para polímeros reciclables = 0.5%

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.9.4 Diseño de mezcla asfáltica para polímeros reciclables (PET+GNM) = 1.0%

De la combinación teórico de diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables tenemos los porcentajes de cada material:

- Piedra chancada = 36%
- Arena Chancada = 34.50%
- Arena zarandeada = 28.50%
- polímeros reciclables = 1.0%

En las siguientes tablas 44, 45, 46, 47 y 48 se presentan los pastones de diseño, para mezclas asfálticas modificadas con polímeros reciclables = 1.0%.

**Tabla 44** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=30% + GNM=70%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	1.00%	99.00%	74.2 g	11.3 g	1114.6 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.0%)	
					PET (30%)	GNM (70%)
DM-16	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-17	3/8" - N°4	119.6	36.6	16.9		
	N°4 - N°10	0.0	116.3	46.7	2.6	
DM-18	PASA N°10		235.5	257.2	0.8	7.9
Parcial		405.3	388.4	320.9	3.4	7.9
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 45** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=40% + GNM=60%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	1.00%	99.00%	74.2 g	11.3 g	1114.6 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.0%)	
					PET (40%)	GNM (60%)
DM-19	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-20	3/8" - N°4	119.6	36.6	16.9		
	N°4 - N°10	0.0	116.3	46.7	3.5	
DM-21	PASA N°10		235.5	257.2	1.1	6.8
Parcial		405.3	388.4	320.9	4.5	6.8
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 46** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=50% + GNM=50%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	1.00%	99.00%	74.2 g	11.3 g	1114.6 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.0%)	
					PET (50%)	GNM (50%)
DM-22	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-23	3/8" - N°4	119.6	36.6	16.9		
	N°4 - N°10	0.0	116.3	46.7	4.3	
DM-24	PASA N°10		235.5	257.2	1.3	5.6
Parcial		405.3	388.4	320.9	5.6	5.6
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 47** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=60% + GNM=40%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	1.00%	99.00%	74.2 g	11.3 g	1114.6 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.0%)	
					PET (60%)	GNM (40%)
DM-25	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-26	3/8" - N°4	119.6	36.6	16.9		
	N°4 - N°10	0.0	116.3	46.7	5.2	
DM-27	PASA N°10		235.5	257.2	1.6	4.5
Parcial		405.3	388.4	320.9	6.8	4.5
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 48** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.0%, (PET=70% + GNM=30%)

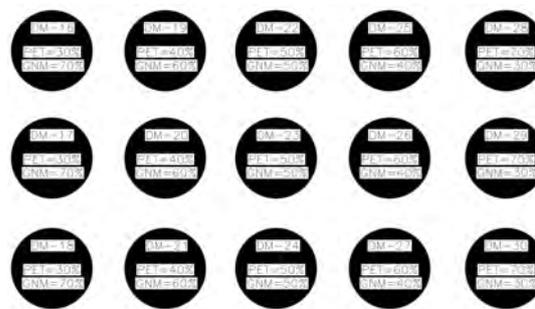
Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	1.00%	99.00%	74.2 g	11.3 g	1114.6 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.0%)	
					PET (70%)	GNM (30%)
DM-28	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-29	3/8" - N°4	119.6	36.6	16.9		
	N°4 - N°10	0.0	116.3	46.7	6.0	
DM-30	PASA N°10		235.5	257.2	1.8	3.4
Parcial		405.3	388.4	320.9	7.9	3.4
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura 47 se ve la preparación de los pastones con un cemento asfáltico óptimo = 6.18%, y polímeros reciclables = 1.0% con las diferentes variaciones de PET y GNM.



(a) Muestras con polímeros = 1.0%



(b) Denominación de briquetas modificadas

**Figura 47** Pastones con adición de polímeros = 1.0%

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 48 se tiene la mezcla asfáltica compactada y desmoldada.



(a) Briquetas compactadas



(b) Briquetas desmoldadas

**Figura 48** Briquetas compactadas para polímeros reciclables = 1.0%

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.9.5 Diseño de mezcla asfáltica para polímeros reciclables (PET+GNM) = 1.5%

De la combinación teórico de diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables tenemos los porcentajes de cada material:

- Piedra chancada = 36%
- Arena Chancada = 34.25%
- Arena zarandeada = 28.25%
- polímeros reciclables = 1.5%

En las siguientes tablas 49, 50, 51, 52 y 53 se presentan los pastones de diseño, para mezclas asfálticas modificadas con polímeros reciclables = 1.5%.

**Tabla 49** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=30% + GNM=70%)

Pastón 1200 g	%C.A Óptimo 6.18%	%(PET+GNM) 1.50%	% Agregados 98.50%	Peso C.A 74.2 g	P.(PET+GNM) 16.9 g	P.Agregados 1108.9 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.5%)	
					PET (30%)	GNM (70%)
DM-31	3/4" - 1/2" 1/2" - 3/8"	135.7 149.9				
DM-32	3/8" - N°4 N°4 - N°10	119.6 0.0	36.4 115.4	16.8 46.3	3.9	
DM-33	PASA N°10		233.8	254.9	1.2	11.8
Parcial		405.3	385.6	318.0	5.1	11.8
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 50** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=40% + GNM=60%)

Pastón 1200 g	%C.A Óptimo 6.18%	%(PET+GNM) 1.50%	% Agregados 98.50%	Peso C.A 74.2 g	P.(PET+GNM) 16.9 g	P.Agregados 1108.9 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.5%)	
					PET (40%)	GNM (60%)
DM-34	3/4" - 1/2" 1/2" - 3/8"	135.7 149.9				
DM-35	3/8" - N°4 N°4 - N°10	119.6 0.0	36.4 115.4	16.8 46.3	5.2	
DM-36	PASA N°10		233.8	254.9	1.6	10.1
Parcial		405.3	385.6	318.0	6.8	10.1
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 51** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=50% + GNM=50%)

Pastón 1200 g	%C.A Óptimo 6.18%	%(PET+GNM) 1.50%	% Agregados 98.50%	Peso C.A 74.2 g	P.(PET+GNM) 16.9 g	P.Agregados 1108.9 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.5%)	
					PET (50%)	GNM (50%)
DM-37	3/4" - 1/2" 1/2" - 3/8"	135.7 149.9				
DM-38	3/8" - N°4 N°4 - N°10	119.6 0.0	36.4 115.4	16.8 46.3	6.5	
DM-39	PASA N°10		233.8	254.9	2.0	8.4
Parcial		405.3	385.6	318.0	8.4	8.4
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 52** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=60% + GNM=40%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	1.50%	98.50%	74.2 g	16.9 g	1108.9 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.5%)	
					PET (60%)	GNM (40%)
DM-40	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-41	3/8" - N°4	119.6	36.4	16.8		
	N°4 - N°10	0.0	115.4	46.3	7.8	
DM-42	PASA N°10		233.8	254.9	2.4	6.8
Parcial		405.3	385.6	318.0	10.1	6.8
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 53** Pastón modificado con polímeros reciclables = 1.5%, (PET=70% + GNM=30%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	1.50%	98.50%	74.2 g	16.9 g	1108.9 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.5%)	
					PET (70%)	GNM (30%)
DM-43	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-44	3/8" - N°4	119.6	36.4	16.8		
	N°4 - N°10	0.0	115.4	46.3	9.1	
DM-45	PASA N°10		233.8	254.9	2.8	5.1
Parcial		405.3	385.6	318.0	11.8	5.1
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura 49 se ve la preparación de los pastones con un cemento asfáltico óptimo = 6.18%, y polímeros reciclables = 1.5% con las diferentes variaciones de PET y GNM.



(a) Muestras con polímeros =1.5%



(b) Denominación de briquetas modificadas

**Figura 49** Pastones con adición de polímeros = 1.5%

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 50 se tiene la mezcla asfáltica compactada y desmoldada.



(a) Briquetas compactadas



(b) Briquetas desmoldadas

**Figura 50** Briquetas compactadas para polímeros reciclables = 1.5%

Fuente: Elaboración propia

**3.10.9.6 Diseño de mezcla asfáltica para polímeros reciclables (PET+GNM) = 2.0%**

De la combinación teórico de diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables tenemos los porcentajes de cada material:

- Piedra chancada = 36%
- Arena Chancada = 34%
- Arena zarandeada = 28%
- polímeros reciclables = 2.0%

En las siguientes tablas 54, 55, 56, 57 y 58 se presentan los pastones de diseño, para mezclas asfálticas modificadas con polímeros reciclables = 2.0%.

**Tabla 54** Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=30% + GNM=70%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	2.00%	98.00%	74.2 g	22.5 g	1103.3 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (2.0%)	
					PET (30%)	GNM (70%)
DM-46	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-47	3/8" - N°4	119.6	36.1	16.6		
	N°4 - N°10	0.0	114.6	45.9	5.2	
DM-48	PASA N°10		232.1	252.7	1.6	15.8
Parcial		405.3	382.8	315.2	6.8	15.8
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 55** Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=40% + GNM=60%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	2.00%	98.00%	74.2 g	22.5 g	1103.3 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (2.0%)	
					PET (40%)	GNM (60%)
DM-49	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-50	3/8" - N°4	119.6	36.1	16.6		
	N°4 - N°10	0.0	114.6	45.9	6.9	
DM-51	PASA N°10		232.1	252.7	2.1	13.5
Parcial		405.3	382.8	315.2	9.0	13.5
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 56** Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=50% + GNM=50%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	2.00%	98.00%	74.2 g	22.5 g	1103.3 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (2.0%)	
					PET (50%)	GNM (50%)
DM-52	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-53	3/8" - N°4	119.6	36.1	16.6		
	N°4 - N°10	0.0	114.6	45.9	8.6	
DM-54	PASA N°10		232.1	252.7	2.6	11.3
Parcial		405.3	382.8	315.2	11.3	11.3
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 57** Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=60% + GNM=40%)

Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	2.00%	98.00%	74.2 g	22.5 g	1103.3 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (2.0%)	
					PET (60%)	GNM (40%)
DM-55	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-56	3/8" - N°4	119.6	36.1	16.6		
	N°4 - N°10	0.0	114.6	45.9	10.4	
DM-57	PASA N°10		232.1	252.7	3.2	9.0
Parcial		405.3	382.8	315.2	13.5	9.0
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 58** Pastón modificado con polímeros reciclables = 2.0%, (PET=70% + GNM=30%)

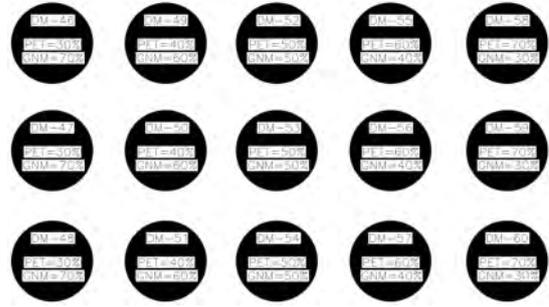
Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1200 g	6.18%	2.00%	98.00%	74.2 g	22.5 g	1103.3 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (2.0%)	
					PET (70%)	GNM (30%)
DM-58	3/4" - 1/2"	135.7				
	1/2" - 3/8"	149.9				
DM-59	3/8" - N°4	119.6	36.1	16.6		
	N°4 - N°10	0.0	114.6	45.9	12.1	
DM-60	PASA N°10		232.1	252.7	3.7	6.8
Parcial		405.3	382.8	315.2	15.8	6.8
					Total =	1125.8

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura 51 se ve la preparación de los pastones con un cemento asfáltico óptimo = 6.18%, y polímeros reciclables = 2.0% con las diferentes variaciones de PET y GNM.



(a) Muestras con polímeros = 2.0%



(b) Denominación de briquetas modificadas

**Figura 51** Pastones con adición de polímeros = 2.0%

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 52 se tiene la mezcla asfáltica compactada y desmoldada.



(a) Briquetas compactadas



(b) Briquetas desmoldadas

**Figura 52** Briquetas compactadas para polímeros reciclables = 2.0%

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se elaboran 60 briquetas modificadas con PET Y GNM = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%. En la siguiente figura 53 se presentan la briquetas.



(a) Total de Briquetas compactadas



(b) Briquetas compactadas

**Figura 53** Briquetas totales compactadas con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.10 Ensayo de desgaste de cántabro MTC E 515

#### 3.10.10.1 Ensayo de desgaste por cántabro convencional

De la combinación teórico de diseño de mezcla asfáltica convencional tenemos los porcentajes de cada material:

- Piedra Chancada = 36%
- Arena Chancada = 35%
- Arena Zarandeada = 29%

Con estos porcentajes se determinan los pastones de diseño de mezclas asfálticas convencionales como se muestra en la tabla 59

**Tabla 59** Pastón C.A = 6.18% para diseño convencional

Pastón 1000 g	%C.A Óptimo 6.18%	%(PET+GNM) 0.00%	% Agregados 100.00%	Peso C.A 61.8 g	P.(PET+GNM) 0 g	P.Agregados 938.2 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polimeros Reciclables (0%) PET (0%)	GNM (0%)
CTC-1	3/4" - 1/2"	113.1				
CTC-2	1/2" - 3/8"	125.0				
CTC-3	3/8" - N°4	99.7	31.0	14.4		
CTC-4	N°4 - N°10	0.0	98.3	39.6	0.0	
CTC-5	PASA N°10		199.1	218.1	0.0	0.0
Parcial		337.7	328.4	272.1	0.0	0.0
					Total =	938.2

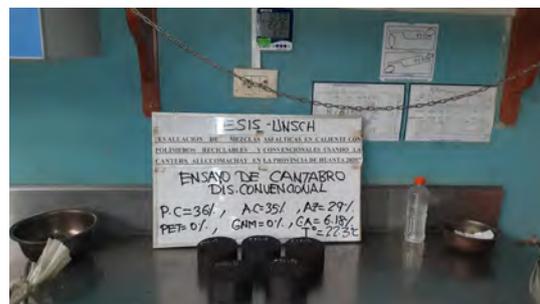
Fuente: Elaboración propia.

Para realizar las briquetas para el ensayo de cántabro, se sigue la metodología Marshall, que se explicó anteriormente. Para este ensayo de desgaste se prepara 5 briquetas para ambos diseños convencionales y modificados.

El peso total para el ensayo cántabro es = 1000g, y se hacen briquetas con una energía de compactación de 50 golpes por cada lado.



(a) Compactación Marshall Convencional



(b) Briquetas compactadas.

**Figura 54** Briquetas convencionales para ensayo de cántabro.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 54 vemos la compactación Marshall y las briquetas desmoldadas.

Luego se realizan los pesos iniciales de cada briqueita y se someten al ensayo de cántabro en la máquina de los ángeles sin carga abrasiva de las esferas a 30 rpm (300 vueltas), como se muestra en siguiente figura 55.



(a) Ensayo de cántabro al inicio

(b) Ensayo cántabro al final.

**Figura 55** Prueba de desgaste en la máquina de los ángeles.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.10.2 Ensayo de desgaste por cántabro modificado con polímeros reciclables

De igual manera se realizan el diseño de mezclas asfálticas modificadas con los siguientes porcentajes óptimos calculados. Se muestra en la tabla 60 los pastones de diseño.

- Piedra Chancada = 36%
- Arena Chancada = 34.25%
- Arena Zarandeada = 28.25%
- Polímeros reciclables óptimos = 1.50% (PET=62.5% + GNM=37.5%)

**Tabla 60** Pastón C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.50% para diseño modificado

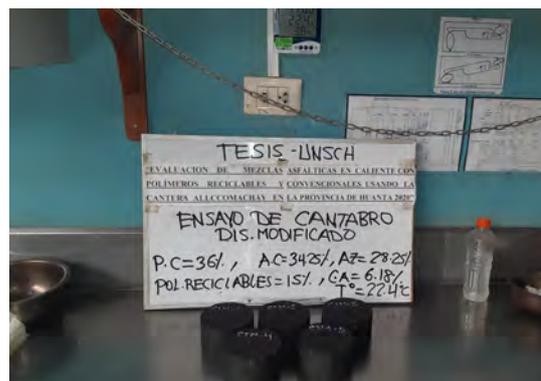
Pastón	%C.A Óptimo	%(PET+GNM)	% Agregados	Peso C.A	P.(PET+GNM)	P.Agregados
1000 g	6.18%	1.50%	98.50%	61.8 g	14.1 g	924.1 g
Briqueitas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.5%)	
					PET (62.5%)	GNM (37.5%)
CTM-1	3/4" - 1/2"	113.1				
CTM-2	1/2" - 3/8"	125.0				
CTM-3	3/8" - N°4	99.7	30.3	14.0		
CTM-4	N°4 - N°10	0.0	96.2	38.6	6.7	
CTM-5	PASA N°10		194.9	212.4	2.1	5.3
	Parcial	337.7	321.3	265.0	8.8	5.3
					Total =	938.2

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 56 vemos la compactación Marshall y las briquetas desmoldadas.



(a) Compactación Marshall modificada



(b) Briquetas compactadas.

**Figura 56** Briquetas modificadas para ensayo de cántabro.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se realizan los pesos iniciales de cada briqueta y se someten al ensayo de cántabro en la máquina de los ángeles sin carga abrasiva de las esferas a 30 rpm (300 vueltas), como se muestra en siguiente figura 57



(a) Ensayo de cántabro al inicio



(b) Ensayo cántabro al final.

**Figura 57** Prueba de desgaste en la máquina de los ángeles.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10.11 Ensayo rueda cargada de Hamburgo AASHTO T 324

Para realizar este ensayo de desempeño se llevan los materiales al laboratorio de TDM asfaltos, ubicado en ciudad de Lurin-Lima. Posteriormente se hacen secar los materiales en un horno de convección forzada, hasta que tengan un peso constante como se muestran en la siguiente figura 92.



(a) Materiales para diseño de mezclas asfálticas en caliente.



(b) Secado de materiales en horno de convección forzada.

**Figura 58** Recepción de materiales en el laboratorio TDM asfaltos.

Fuente: Elaboración propia.

Con los materiales secos se pesan los pastones con los diseños de la mezcla asfáltica convencional y modificado óptimos obtenidos. En la siguiente tabla 61 y 62 se muestran ambos diseños, las cuales tienen un peso de molde igual a 2500 gramos.

**Tabla 61** Pastón C.A = 6.18% para diseño rueda de Hamburgo convencional

Pastón 2500 g	%C.A Óptimo 6.18%	%(PET+GNM) 0.00%	% Agregados 100.00%	Peso C.A 154.5 g	P.(PET+GNM) 0 g	P.Agregados 2345.5 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (0%)	
					PET (0%)	GNM (0%)
HC-1	3/4" - 1/2"	282.7				
HC-2	1/2" - 3/8"	312.4				
	3/8" - N°4	249.2	77.4	35.9		
	N°4 - N°10	0.0	245.7	99.1	0.0	
	PASA N°10		497.8	545.2	0.0	0.0
Parcial		844.3	820.9	680.2	0.0	0.0
					Total =	2345.4

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 62** Pastón C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.50% para rueda de Hamburgo diseño modificado

Pastón 2500 g	%C.A Óptimo 6.18%	%(PET+GNM) 1.50%	% Agregados 98.50%	Peso C.A 154.5g	P.(PET+GNM) 35.2 g	P.Agregados 2310.3 g
Briquetas	Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	Polímeros Reciclables (1.5%)	
					PET (62.5%)	GNM (37.5%)
HM-1	3/4" - 1/2"	282.7				
HM-2	1/2" - 3/8"	312.4				
	3/8" - N°4	249.2	75.7	35.0		
	N°4 - N°10	0.0	240.4	96.5	16.9	
	PASA N°10		487.2	531.1	5.1	13.2
Parcial		844.3	803.3	662.6	22.0	13.2
					Total =	2345.4

Fuente: Elaboración propia.

Con los pastones calculados se realiza el pesaje de cada agregado, cemento asfáltico y polímeros reciclables, tanto para el diseño convencional y modificado, como se muestran en la figura 59.



(a) Pesaje de materiales.



(b) Adición de polímeros.

**Figura 59** Peso de agregados y polímeros reciclables.

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza la preparación de la mezcla de materiales a una temperatura =  $144^{\circ}\text{C}$ , según la carta de viscosidad del cemento asfáltico PEN 120/150, como se muestra en la siguiente figura 60



(a) Pesaje de cemento asfáltico.



(b) Combinación de materiales.

**Figura 60** Preparación de mezcla asfáltica en caliente.

Fuente: Elaboración propia.

Previamente, se realiza el cálculo del peso específico rice tanto para el diseño convencional y modificado con C.A óptimo = 6.18% y polímeros reciclables óptimos = 1.5% (PET = 62.5% + GNM = 37.5%) que fueron obtenidos con la metodología Marshall, y los porcentajes de diseño calculados previamente de la piedra chancada, arena chancada, arena zarandada, PET y GNM.

Para el cálculo del peso específico RICE, se preparan la mezcla asfáltica suelta, como se aprecia en la siguiente figura 61, se deja enfriar la mezcla para luego realizar el ensayo.



**Figura 61** Mezcla asfáltica suelta para el ensayo RICE

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el ensayo rice, para ambos diseños convencional y modificado, como podemos apreciar en la siguiente figura. 62. Se aplica una presión de 27+-2.5 mmHg, durante 15 minutos para extraer los vacíos.



**(a)** Ensayo RICE convencional .



**(b)** Ensayo RICE modificado .

**Figura 62** Ensayo para el cálculo del peso específico RICE (Gmm).

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el cálculo de los valores rice para ambos diseños, se muestra en la siguientes tablas 63 y 64 los resultados, y se usa la siguiente fórmula.

$$G_{mm} = \frac{A}{A - (B - C)} \quad (3.1)$$

**Tabla 63** Densidad teórica máxima para diseño modificado (Gmm)

Peso específico Rice para diseño Modificado (Gmm)		
Descripción	und	Peso
Peso Material (A)	g	1191.4
Peso material + Peso Picnómetro + Peso de agua destilada (B)	g	8101.8
Peso Picnómetro + Peso de agua destilada (C)	g	7411
Peso específico Rice (Gmm)	g/cm3	2.380

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 64** Densidad teórica máxima para diseño convencional (Gmm)

Peso específico Rice para diseño Convencional (Gmm)		
Descripción	und	Peso
Peso Material (A)	g	1189.6
Peso material + Peso Picnómetro + Peso de agua destilada (B)	g	8107.6
Peso Picnómetro + Peso de agua destilada (C)	g	7411
Peso específico Rice (Gmm)	g/cm <sup>3</sup>	2.413

Fuente: Elaboración propia.

Calculado el peso específico rice para ambos diseños, se prepara la mezcla y se realiza la compactación de especímenes cuyas dimensiones tienen un diámetro de 150 mm y espesor de 60 mm, en el compactador giratorio, donde los vacíos de la mezcla compactada deben estar en el rango de 6% - 8%, este rango es muy importante para realizar el ensayo de Hamburgo. Finalizado la compactación se desmolda las briquetas como se muestran la figura 63.



(a) Compactación de mezcla.



(b) Briqueta compactada.

**Figura 63** Elaboración de briquetas en el compactador giratorio superpave.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez extraída las briquetas tanto de diseño de mezcla asfáltica convencional y modificada con polímeros reciclables (PET + GNM), se dejan enfriar y se caracterizan para su posterior ensayo como en la siguiente figura 64.



(a) Briquetas compactadas.



(b) Briqueta compactadas.

**Figura 64** Briquetas compactadas convencionales y modificadas para el ensayo de rueda de Hamburgo.

Fuente: Elaboración propia.

Se preparan las briquetas de doble núcleo como se puede ver en la figura 64, para ambos

diseños planteados.



(a) Moldes convencionales.



(b) Moldes Modificadas.

**Figura 65** Preparación de moldes para el ensayo rueda de Hamburgo.

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se colocan los moldes de doble núcleo al equipo rueda de Hamburgo, donde la temperatura de prueba es  $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , este equipo computarizado se encuentra configurado bajo la norma AASHTO T324, que inicia y finaliza la prueba automáticamente cuando se alcance los 12.5 mm de profundidad (Ahuellamiento). Podemos apreciar este procedimiento en la siguiente figura 66.



(a) Colocación del molde .



(b) Ejecución del ensayo .

**Figura 66** Ensayo de rueda de Hamburgo.

Fuente: Elaboración propia.

# Capítulo IV

## Resultados

---

*En esta capítulo se muestra los resultados y se realiza la contrastación de las hipótesis planteadas en la presente investigación, posteriormente se realiza un análisis en interpretación de los diseño de mezcla asfáltica convencional respecto a un diseño modificado con polímeros reciclables.*

### 4.1 Contrastación de hipótesis

Para realizar la contrastación de las hipótesis planteadas en la investigación se realiza las siguientes pruebas estadísticas de normalidad de Shapiro Wilk (porque nuestras muestras son menores a 50), prueba estadística de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene), prueba Anova de un factor, prueba estadística de Brown-Forsythe o de Welch (Pruebas robustas de igualdad de medias) y la prueba post hoc (tukey)

#### 4.1.1 Hipótesis específica 1

##### 4.1.1.1 Prueba de normalidad de la estabilidad y flujo Marshall

Se realiza el siguiente procedimiento:

##### A) Plantear la hipótesis de normalidad

$H_0$ : Los datos tiene una distribución normal.

$H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal.

##### B) Nivel de significancia

Confianza: 95%

Significancia:  $\alpha = 5\%$

##### C) Prueba de normalidad

Como nuestro datos son  $n \leq 50$ , entonces se aplica el método estadístico de Shapiro-Wilk.

### D) Criterio de decisión

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  se rechaza la  $H_o$  y acepto la  $H_a$ .

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_o$  y se rechaza la  $H_a$ .

#### 4.1.1.2 Normalidad de la estabilidad Marshall

Se muestra la normalidad de la estabilidad Marshall mediante la prueba estadística de Shapiro-Wilk en la siguiente tabla 65.

**Tabla 65** Normalidad para la estabilidad Marshall

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad Convencional con C.A óptimo=6.18%	,136	5	,200*	,987	5	,967
Estabilidad Modificada con C.A óptimo=6.18% y Polímeros Reciclables=0.5%	,209	5	,200*	,970	5	,874
Estabilidad Modificada con C.A óptimo=6.18% y Polímeros Reciclables=1.0%	,191	5	,200*	,977	5	,918
Estabilidad Modificada con C.A óptimo=6.18% y Polímeros Reciclables=1.5%	,198	5	,200*	,974	5	,899
Estabilidad Modificada con C.A óptimo=6.18% y Polímeros Reciclables=2.0%	,237	5	,200*	,879	5	,306

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 74 donde  $P = 0.967$ ,  $P=0.874$ ,  $P=0.918$ ,  $P=0.899$ ,  $P=0.306$  valores significativos que son mayores a 0.05, por lo tanto se acepta  $H_o$ , es decir los datos tienen una distribución normal y aplicaremos una prueba estadística paramétrica.

#### 4.1.1.3 Homogeneidad de varianza

La homogeneidad de varianza se realiza mediante la prueba estadística de Levene, se realiza el siguiente criterio de decisión:

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_o =$  Los datos provienen de una homogeneidad de varianzas.

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_a =$  Los datos no provienen de una homogeneidad de varianzas.

Se muestra la homogeneidad de varianzas en la siguiente tabla 66.

**Tabla 66** Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Estabilidad (kg)	Se basa en la media	2,483	4	20	,077
	Se basa en la mediana	1,789	4	20	,171
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,789	4	13,779	,188
	Se basa en la media recortada	2,429	4	20	,081

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 66 el valor significativo  $P=0.077$  es mayor que 0.05, por lo tanto se acepta  $H_0$ , es decir los datos provienen de una homogeneidad de varianzas.

#### 4.1.1.4 Prueba estadístico ANOVA

Esta prueba estadística se realiza para comparar las medias de cada grupo con el siguiente criterio de prueba:

$H_0$ : Con la adición de polímeros reciclables en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente modificada **no** se logra tener valores aceptables de estabilidad Marshall respecto a las convencionales.

$H_a$ : Con la adición de polímeros reciclables en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente modificada **si** se logra tener valores aceptables de estabilidad Marshall respecto a las convencionales.

En la prueba de ANOVA se realiza el siguiente criterio de decisión:

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  se rechaza la  $H_0$  y acepto la  $H_a$ .

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$ .

Se muestra el ANOVA de la estabilidad Marshall en la siguiente tabla 67.

**Tabla 67** ANOVA de un factor para la estabilidad Marshall

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	463651,440	4	115912,860	12,381	,000
Dentro de grupos	187244,500	20	9362,225		
Total	650895,940	24			

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 67 el valor  $P=0.000$  es menor que 0.05, por lo tanto rechazamos la  $H_0$  y se aceptamos la  $H_a$ .

#### 4.1.1.5 Prueba de post hoc para la estabilidad Marshall

Se muestra la prueba post hoc de la estabilidad Marshall en la siguiente tabla 68. Se aplica la prueba Tukey porque el tamaño de los grupos son iguales, con esta prueba analizamos si los grupos de estas medias son estadísticamente significativos.

**Tabla 68** Prueba post hoc de la estabilidad Marshall

(I) Polímeros reciclables =0.5%, 1.0%,1.5% y 2.0%	(J) Polímeros reciclables =0.5%, 1.0%,1.5% y 2.0%	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Convencional	0.5	83,00000	61,19551	,661
	1	45,20000	61,19551	,945
	1.5	205,40000*	61,19551	,023
	2	378,00000*	61,19551	,000

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 68 al comparar las medias del grupo de diseño convencional con diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0% (**0.661 y 0.945 > 0.05**) respectivamente, por lo tanto no existen diferencias significativas, pero al comparar con diseño modificado con polímeros reciclables = 1.5% y 2.0% (**0.023 y 0.000 < 0.05**) respectivamente, es decir las media de estos grupos es estadísticamente significativo.

#### 4.1.1.6 Prueba de normalidad de flujo Marshall

Se muestra la normalidad del flujo Marshall mediante la prueba estadística de Shapiro-Wilk en la siguiente tabla 69.

**Tabla 69** Normalidad para el flujo Marshall

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo Convencional con C. A óptimo=6.18%	,136	5	,200*	,987	5	,967
Flujo Modificada con C.A óptimo=6.18% y Polímeros Reciclables=0.5%	,168	5	,200*	,969	5	,868
Flujo Modificada con C.A óptimo=6.18% y Polímeros Reciclables=1.0%	,242	5	,200*	,908	5	,458
Flujo Modificada con C.A óptimo=6.18% y Polímeros Reciclables=1.5%	,282	5	,200*	,859	5	,224
Flujo Modificada con C.A óptimo=6.18% y Polímeros Reciclables=2.0%	,222	5	,200*	,849	5	,190

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 69 donde  $P = 0.967$ ,  $P=0.868$ ,  $P=0.458$ ,  $P=0.224$ ,  $P=0.190$  valores significativos que son mayores a 0.05, por lo tanto se acepta  $H_o$ , es decir los datos tienen una distribución normal y aplicaremos una prueba estadística paramétrica.

#### 4.1.1.7 Homogeneidad de varianza

La homogeneidad de varianza se realiza mediante la prueba estadística de Levene, se realiza el siguiente criterio de decisión:

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_o$  = Los datos provienen de una homogeneidad de varianzas.

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_a$  = Los datos no provienen de una homogeneidad de varianzas.

Se muestra la homogeneidad de varianzas en la siguiente tabla 70.

**Tabla 70** Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Flujo (mm)	Se basa en la media	3,114	4	20	,038
	Se basa en la mediana	1,594	4	20	,215
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,594	4	15,258	,226
	Se basa en la media recortada	3,015	4	20	,043

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 70 el valor significativo  $P=0.038$  es menor que 0.05, por lo tanto se acepta  $H_a$ , es decir los datos no provienen de una homogeneidad de varianzas.

#### 4.1.1.8 Prueba estadístico ANOVA

Esta prueba estadística se realiza para comparar las medias de cada grupo con el siguiente criterio de prueba:

$H_o$ : Con la adición de polímeros reciclables en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente modificada **no** se logra tener valores aceptables de la fluencia Marshall respecto a las convencionales.

$H_a$ : Con la adición de polímeros reciclables en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente modificada **si** se logra tener valores aceptables de la fluencia Marshall respecto a las convencionales.

En la prueba de ANOVA se realiza el siguiente criterio de decisión:

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  se rechaza la  $H_o$  y acepto la  $H_a$ .

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_o$  y se rechaza la  $H_a$ .

Se muestra el ANOVA del flujo Marshall en la siguiente tabla 71.

**Tabla 71** ANOVA de un factor para el flujo Marshall

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,538	4	,384	12,379	,000
Dentro de grupos	,621	20	,031		
Total	2,159	24			

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 71 el valor  $P=0.000$  es menor que 0.05, por lo tanto rechazamos la  $H_o$  y se acepta la  $H_a$ .

#### 4.1.1.9 Pruebas robustas de igualdad de medias

Como la prueba de Levene para el flujo Marshall muestra que las varianzas no son significativamente homogéneas, se calcula de nuevo el estadístico  $F$ , mediante la prueba de Brown-Forsythe o de Welch, con esta prueba se lleva a cabo una transformación de las puntuaciones.

Se muestra el resultado de la prueba robusta de igualdad de medias para el flujo en la siguiente tabla 72

**Tabla 72** Pruebas robustas de igualdad de medias para el flujo marshall

	Estadístico <sup>a</sup>	gl1	gl2	Sig.
Welch	30,046	4	8,119	,000
Brown-Forsythe	12,379	4	13,791	,000

#### a. F distribuida de forma asintótica

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 72 el valor  $P=0.000$  es menor que 0.05, por lo tanto rechazamos la  $H_o$  y aceptamos la  $H_a$

#### 4.1.1.10 Prueba de post hoc (Tukey) para el flujo Marshall

Se muestra la prueba post hoc del flujo Marshall en la siguiente tabla 73. Se aplica la prueba Tukey porque el tamaño de los grupos son iguales, con esta prueba analizamos si los grupos de estas medias son estadísticamente significativos.

**Tabla 73 Prueba post hoc del flujo Marshall**

(I) Polímeros reciclables =0.5%, 1.0%,1.5% y 2.0%	(J) Polímeros reciclables =0.5%, 1.0%,1.5% y 2.0%	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Convencional	0.5%	-,07400	,11145	,962
	1%	-,49800*	,11145	,002
	1.5%	-,45200*	,11145	,005
	2%	-,63000*	,11145	,000

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 73 al comparar las medias del grupo de diseño convencional con diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5% ( $0.962 > 0.05$ ), por lo tanto no existe diferencias significativa entre este grupo, pero al comparar con el diseño modificado con polímeros reciclables = 1.0%, 1.5% y 2.0% ( $0.002$ ,  $0.005$  y  $0.000 < 0.05$ ) respectivamente, es decir las media de estos grupos es estadísticamente significativo.

## 4.1.2 Hipótesis específica 2

### 4.1.2.1 Prueba de normalidad de desgaste de briquetas convencionales y modificadas

Se realiza el siguiente procedimiento:

#### A) Plantear la Hipótesis de normalidad

$H_o$ : Los datos tiene una distribución normal.

$H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal.

#### B) Nivel de significancia

Confianza: 95%

Significancia:  $\alpha = 5\%$

#### C) Prueba de normalidad

Como nuestro  $n \leq 50$ , entonces se aplica el método estadístico de Shapiro-Wilk.

#### D) Criterio de desición

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  se rechaza la  $H_o$  y acepto la  $H_a$ .

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  se acepta la  $H_o$  y se rechaza la  $H_a$ .

#### E) Resultado y conclusión

Se muestra la normalidad de Shapiro-Wilk en la siguiente tabla 74.

**Tabla 74** Normalidad para el ensayo de cántabro del desgaste de briquetas

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Desgaste de biqueta Convencional con C.A Óptimo=6.18%	,303	5	,150	,803	5	,085
Desgaste de biqueta Modificado con C.A Óptimo=6.18%, con Polímeros Reciclables Óptimos =1.5% (PET=62.5%, GNM=37.5%)	,226	5	,200*	,848	5	,187

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 74. los  $P = 0.085$ ,  $P=0.187$  valores significativos que son mayores a 0.05, por lo tanto se acepta  $H_0$ , es decir los datos tienen una distribución normal y aplicaremos una prueba estadística paramétrica.

#### 4.1.2.2 Prueba T-student para muestras relacionadas

Se realiza el siguiente procedimiento:

##### A) Plantear la Hipótesis

$H_0$ : No hay diferencia significativa en la variación del desgaste de cántabro de una mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables respecto a una convencional.

$H_a$ : Hay diferencia significativa en la variación del desgaste de cántabro de una mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables respecto a una convencional.

##### B) Nivel de significancia

Confianza: 95%

Significancia:  $\alpha = 5\%$

##### C) Criterio de decisión

Si:  $P \geq 0.05 \rightarrow$  aceptamos la  $H_0$  y rechazamos la  $H_a$ .

Si:  $P < 0.05 \rightarrow$  rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .

##### D) Resultados y conclusión

Se muestra resultado de la prueba estadística T-Student en la siguiente tabla 75.

**Tabla 75 Prueba T-Student para desgaste de briquetas por ensayo de cántabro**

		<b>Prueba de muestras emparejadas</b>			
		Diferencias ... 95% de intervalo de confianza de ...			
		Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Diseño de briketa Convencional con C.A. Óptimo=6.18% - Diseño de briketa Modificada con C. A. Óptimo=6.18%, con Polímeros Reciclables Óptimos=1.5% (PET=62. 5% +GNM=37.5%)	,617	,762	4	,489

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 75 vemos que  $P = 0.489 \geq 0.05$  aceptamos la  $H_0$  y rechazamos la  $H_a$ , es decir las medias entre el pre y post test son significativamente iguales, por lo tanto concluimos que **“No hay diferencia significativa en la variación del desgaste de cántabro de una mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables respecto a una convencional.”**

### 4.1.3 Hipótesis específica 3

#### A) Plantear la hipótesis

$H_0$ : Con el uso de polímeros reciclables en el diseño de una mezcla asfáltica modificada **no** se permite reducir el ahuellamiento respecto a un diseño convencional.

$H_a$ : Con el uso de polímeros reciclables en el diseño de una mezcla asfáltica modificada **si** se permite reducir el ahuellamiento respecto a un diseño convencional.

Esta hipótesis, se va contrastar con los resultados obtenidos con el ensayo rueda cargada de Hamburgo. No se realiza estadísticamente porque se cuenta con un solo valor de ahuellamiento tanto para un diseño convencional y modificado respectivamente.

**Tabla 76 Resultado del ensayo de rueda cargada de Hamburgo para ambos diseños.**

<b>Ensayo de Rueda de Hamburgo AASHTO T 324</b>			
<b>Descripción</b>	<b>und</b>	<b>Diseño Convencional</b>	<b>Diseño Modificado con PET+GNM</b>
Temperatura de ensayo	°C	50	50
Velocidad de rueda	pasadas/min	52	52
Cemento Asfáltico óptimos	%	6.18	6.18
Polímeros reciclables óptimos	%	0	1.5 (PET=62.5% + GNM=37.5%)
Densidad Máxima teórica	g/cm <sup>3</sup>	2.413	2.38
Porcentaje de Vacíos (Va)	%	6.18	7.0
Profundidad final	mm	12.49	12.5
<b>Pasadas de Rueda Hamburgo</b>	<b>pasadas</b>	<b>3008</b>	<b>4042</b>

Fuente: Elaboración propia.

## B) Conclusión

Como podemos ver en la tabla 76, el diseño modificado con polímeros reciclables (PET+GNM) soporta 4042 pasadas de la rueda de hamburgo y el diseño convencional soporta 3008 pasadas, se acepta la hipótesis alterna  $H_a$  y se rechaza la hipótesis nula  $H_o$ . Por lo tanto se concluye que **el uso de polímeros reciclables en el diseño de una mezcla asfáltica compactada si permite reducir el ahuellamiento respecto a un diseño convencional.**

### 4.1.4 Hipótesis general

Al realizar la contrastación de las hipótesis específicas planteadas, se demostró que con la adición de polímeros reciclables en el diseño de mezclas asfálticas modificadas en caliente se logra mejorar un desempeño superior con respecto al diseño convencional. Podemos ver que la estabilidad y la fluencia Marshall se encuentran dentro de los valores permitidos, el valor de desgaste de cántabro al realizar el análisis estadístico nos sale que no hay diferencia significativa ya que los valores obtenidos son cercanos, pero analizando numéricamente vemos que cuando se adiciona polímeros reciclables al diseño de mezcla asfáltica muestra valores de desgaste menores respecto al diseño convencional y finalmente al realizar el ensayo de Hamburgo vemos que el diseño con adición de polímeros reciclables soporta mas pasadas de la rueda cargada de Hamburgo, esto se debe a que el GNM y el PET tiene la característica elástica de soportar la carga y recuperar su forma, consecuentemente contribuye en la disminución del ahuellamiento.

## 4.2 Análisis e interpretación

### 4.2.1 Resultados y análisis de diseño convencional y modificado

#### 4.2.1.1 Resultados y análisis de diseño convencional

Para realizar análisis de los resultados deben cumplir las siguientes especificaciones técnicas generales para la construcción del manual de carreteras. (MTC, 2013)

**Tabla 77** Requisitos para mezclas asfálticas en caliente

Requisitos para mezcla de concreto bituminoso			
Parámetros de diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	50
2. Estabilidad	8.15 kN (831 kg)	5.44 kN	4.53 kN
3. Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14 (2-4 mm)	8 - 16	8 - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3.0 - 5.0	3.0 - 5.0	3.0 - 5.0
5. Relación de estabilidad/flujo (kg/cm <sup>3</sup> )	1700 - 4000		

Fuente: obtenido de (MTC, 2013)

**Tabla 78** Vacíos mínimos del agregado mineral VMA (%)

Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)		
Tamiz	Vacíos mínimos en el agregado mineral (%)	
	Marshall	Superpave
2.36 mm (N° 8)	21	-
4.75 mm (N° 4)	18	-
9.5 mm (3/8")	16	15
12.5 mm (1/2")	15	14
19.0 mm (3/4")	14	13
25.0 mm (1")	13	12
37.5 mm (1 1/2")	12	11
50 mm (2")	11.5	10.5

Fuente: obtenido de (MTC, 2013)

**Tabla 79** Vacíos llenos de asfalto VFA (%)

Vacíos llenos de asfalto (VFA)	
Tráfico (millones de ejes equivalentes)	VFA (%)
≤ 0.3	70 - 80
> 0.3 - 3	68 - 78
> 3	65 - 75

Fuente: obtenido de (MTC, 2013)

Se muestran en la siguiente tabla 80, 81, 82, 83 y 84 el resultado para un diseño de mezcla asfáltica convencional para C.A=5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%.

**Tabla 80** Resultado de diseño para un C.A=5.0%

ENSAYO MARSHALL CON C.A = 5.0%						
PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DC-1	DC-2	DC-3		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	5.00	5.00	5.00	<b>5.00</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	35.00	35.00	35.00		
Arena zarandeada	%	29.00	29.00	29.00		
Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	adim.	2.273	2.285	2.301	<b>2.286</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	6.64	6.18	5.52	<b>6.1</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.71	15.29	14.70	<b>15.2</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	57.76	59.62	62.45	<b>59.94</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	2.89	3.77	3.22	<b>3.29</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	835	1124	1201	<b>1053</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 81** Resultado de diseño para un C.A=5.5%

ENSAYO MARSHALL CON C.A = 5.5%						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DC-4	DC-5	DC-6		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	5.50	5.50	5.50	<b>5.50</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	35.00	35.00	35.00		
Arena zarandeada	%	29.00	29.00	29.00		
Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	adim.	2.309	2.309	2.298	<b>2.305</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	4.83	4.83	5.27	<b>5.0</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	14.85	14.85	15.24	<b>14.98</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	67.48	67.48	65.41	<b>66.8</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.63	3.24	3.17	<b>3.35</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1273	1225	1339	<b>1279</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 82** Resultado de diseño para un C.A=6.0%

ENSAYO MARSHALL CON C.A = 6.0%						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DC-7	DC-8	DC-9		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.00	6.00	6.00	<b>6.00</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	35.00	35.00	35.00		
Arena zarandeada	%	29.00	29.00	29.00		
Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	adim.	2.298	2.280	2.311	<b>2.296</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	4.37	5.13	3.81	<b>4.4</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.70	16.37	15.20	<b>15.8</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	72.13	68.65	74.93	<b>71.9</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.28	3.86	3.16	<b>3.43</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1409	1202	1518	<b>1377</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 83** Resultado de diseño para un C.A=6.5%

ENSAYO MARSHALL CON C.A = 6.5%						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DC-10	DC-11	DC-12		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.50	6.50	6.50	<b>6.50</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	35.00	35.00	35.00		
Arena zarandeada	%	29.00	29.00	29.00		
Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	adim.	2.309	2.324	2.320	<b>2.318</b>	
Vacíos de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	4.00	3.36	3.55	<b>3.6</b>	3 - 5
Vacíos del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.80	15.20	15.40	<b>15.5</b>	Min. 14
Vacíos llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	74.59	77.88	76.89	<b>76.5</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.40	3.71	3.66	<b>3.59</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1275	1450	1252	<b>1326</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 84** Resultado de diseño para un C.A=7.0%

ENSAYO MARSHALL CON C.A = 7.0%						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DC-13	DC-14	DC-15		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	7.00	7.00	7.00	<b>7.00</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	35.00	35.00	35.00		
Arena zarandeada	%	29.00	29.00	29.00		
Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	adim.	2.318	2.315	2.314	<b>2.315</b>	
Vacíos de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	2.82	2.95	2.98	<b>2.9</b>	3 - 5
Vacíos del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.87	15.99	16.01	<b>16.0</b>	Min. 14
Vacíos llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	82.26	81.53	81.40	<b>81.7</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.02	4.40	3.88	<b>4.10</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1169	1225	1228	<b>1207</b>	Min. 831

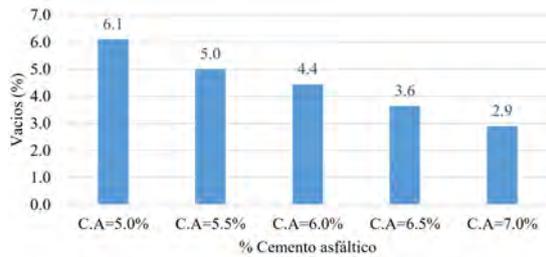
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados, de cada porcentaje de cemento asfáltico se grafican diferentes curvas de cemento asfáltico vs vacíos, estabilidad, flujo, peso específico, vacíos del agregado mineral y vacíos llenos de asfalto tal como se muestran en la siguientes figuras 67, 68, 69, 70, 71, y 72.

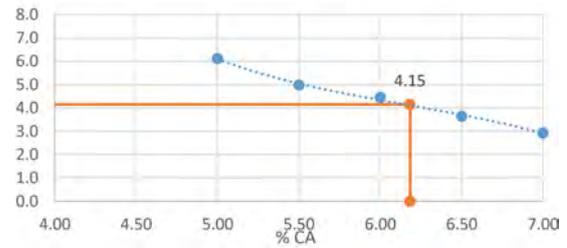
### A) Vacíos (Va)

Para hallar el cemento asfáltico óptimo deben cumplir las especificaciones técnicas

En la figura 67 se observa los resultados de vacíos .



(a) Valores de los vacíos.



(b) Vacíos y C.A. óptimo.

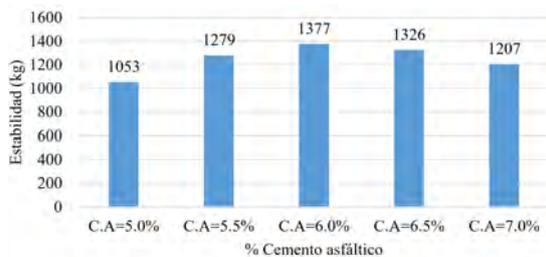
**Figura 67** Gráficas de los vacíos.

Fuente: Elaboración propia.

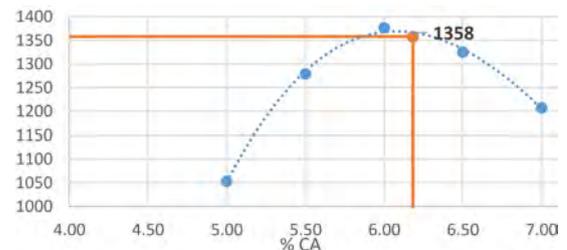
Los vacíos deben estar entre 3% a 5%, mediante una interpolación para un valor de vacíos igual a 4.15%, se obtiene un cemento asfáltico óptimo = 6.18%, como se puede apreciar en el gráfico 67 b).

### B) Estabilidad

En la figura 68 se observa los resultados de la estabilidad Marshall .



(a) Valores de Estabilidad.



(b) Estabilidad obtenida.

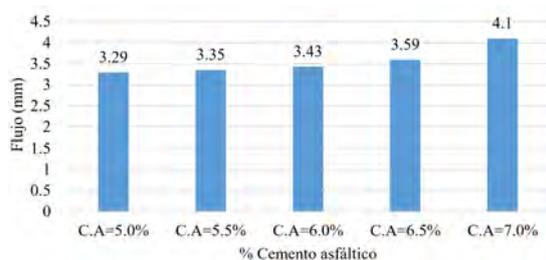
**Figura 68** Gráficas de la estabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

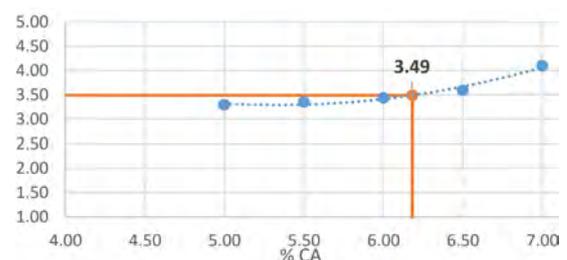
La estabilidad mínima debe ser 8.15 KN (831 kg), para un C.A = 6.18% tenemos en la gráfica por interpolación un valor de estabilidad igual a 1358 kg, de esta manera se está cumpliendo la normativa.

### C) Flujo

En la figura 69 se observa los resultados de flujo Marshall .



(a) Valores de flujos.



(b) Flujo obtenido.

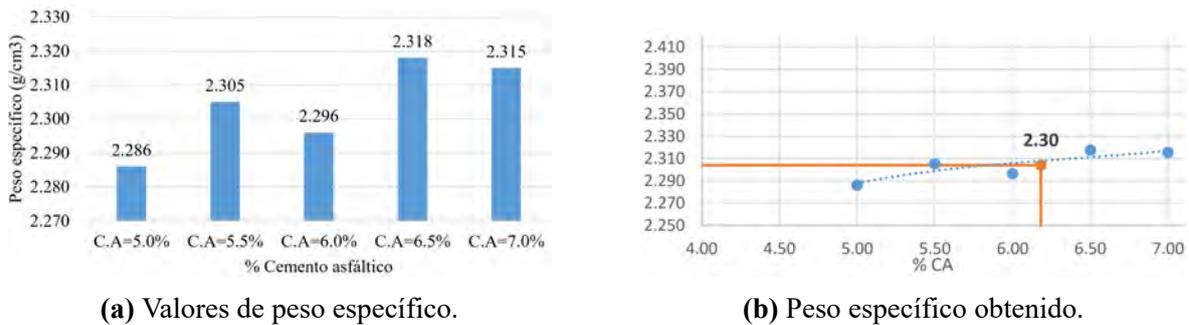
**Figura 69** Gráficas del flujo.

Fuente: Elaboración propia.

El flujo deben estar entre 2 mm a 4 mm, para un C.A = 6.18% tenemos en la gráfica 69 b) un valor de flujo igual a 3.49 mm, este valor se obtiene mediante una interpolación, la cual cumple con la especificación establecida.

#### D) Peso específico (Gmb)

En la figura 70 se observa los resultados del peso específico.

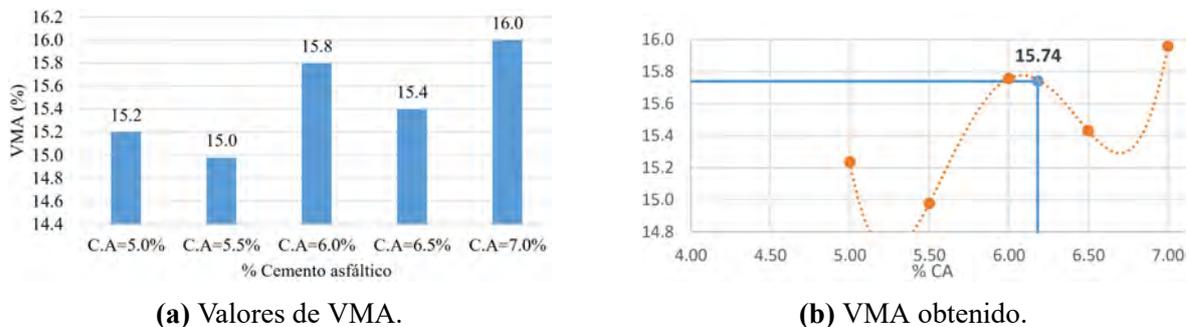


**Figura 70** Gráficas del peso específico.  
Fuente: Elaboración propia.

Este valor del peso específico es calculado para un C.A = 6.18%, se entra en la gráfica 70 b) y se obtiene un valor de 2.304 g/cm<sup>3</sup>.

#### E) Vacíos del agregado mineral (VMA)

En la figura 71 se observa los resultados de vacíos del agregado mineral.



**Figura 71** Gráfica de vacíos del agregado mineral.  
Fuente: Elaboración propia.

El valor de VMA mínima es 14% según la normativa, para un valor de C.A = 6.18% se entra en la gráfica 71 b) y por interpolación se obtiene un valor de VMA = 15.74%, este valor cumple con la normativa especificada.

#### F) Vacíos llenos de asfalto (VFA)

En la figura 72 se observa los resultados de vacíos llenos de asfalto.

**Figura 72** Gráfica de VFA.

Fuente: Elaboración propia.

El valor de VFA se establece en función del tráfico (millones de ejes equivalentes) que se muestra en la tabla, para un valor de C.A = 6.18% se entra en la gráfica 72 b) y por interpolación se obtiene un valor de VMA = 73.58%, este valor cumple con la normativa especificada.

Al realizar estas gráficas analizamos los diseños, y mediante interpolaciones se logra obtener un diseño óptimo que cumpla las normativas especificadas.

**Tabla 85** Resultado final de diseño mezcla asfáltica convencional

RESULTADO DEL ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL CON C.A OPTIMO = 6.18%				
CARACTERÍSTICAS	UND.	VALOR	ESPECIFICACIÓN TECNICA	VALIDEZ
N° de golpes por lado		75	75	Cumple OK
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	-	Cumple OK
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.15	3 - 5	Cumple OK
Estabilidad corregida promedio	kg	1358	Min. 831	Cumple OK
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.49	2 - 4	Cumple OK
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	g/cm3	2.304	-	Cumple OK
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.74	Min. 14	Cumple OK
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	73.58	65-75	Cumple OK
Relación de estabilidad/flujo	kg/cm3	3934.00	1700-4000	Cumple OK

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.1.2 Resultados y análisis de diseño modificado con polímeros reciclables

Se muestran los resultados en las siguientes tablas 86, 87, 88, 89 y 90 para un diseño de mezcla asfáltica modificado, con C.A óptimo = 6.18% y polímeros reciclables = 0.5%.

**Tabla 86** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 0.5%  
(PET=30%+GNM=70%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =0.5% (PET=30%+GNM=70%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-1	DM-2	DM-3		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75		
Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75		
Polímero reciclable (PET)	%	0.15	0.15	0.15		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.35	0.35	0.35		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.324	2.326	2.318	<b>2.323</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	3.19	3.08	3.42	<b>3.2</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.27	14.17	14.48	<b>14.3</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	77.67	78.30	76.36	<b>77.44</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.24	3.53	4.51	<b>3.76</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1391	1433	1545	<b>1456</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 87** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 0.5%  
(PET=40%+GNM=60%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =0.5% (PET=40%+GNM=60%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-4	DM-5	DM-6		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75		
Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75		
Polímero reciclable (PET)	%	0.20	0.20	0.20		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.30	0.30	0.30		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.306	2.308	2.316	<b>2.310</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.29	4.19	3.87	<b>4.1</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.97	14.88	14.60	<b>14.8</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	71.33	71.86	73.49	<b>72.23</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.03	3.94	3.58	<b>3.85</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1124	1188	1411	<b>1241</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 88** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables =  $0.5\%$   
( $PET=50\%+GNM=50\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =0.5% (PET=50%+GNM=50%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-7	DM-8	DM-9		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75		
Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75		
Polímero reciclable (PET)	%	0.25	0.25	0.25		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.25	0.25	0.25		
Peso específico bulk de la briketa (Gmb)	adim.	2.321	2.306	2.311	<b>2.313</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	3.37	4.01	3.80	<b>3.7</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.44	15.01	14.82	<b>14.8</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	76.67	73.26	74.38	<b>74.77</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.66	3.48	3.64	<b>3.59</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1430	1206	1350	<b>1328</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 89** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables =  $0.5\%$   
( $PET=60\%+GNM=40\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =0.5% (PET=60%+GNM=40%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-10	DM-11	DM-12		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75		
Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75		
Polímero reciclable (PET)	%	0.30	0.30	0.30		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.20	0.20	0.20		
Peso específico bulk de la briketa (Gmb)	adim.	2.285	2.296	2.311	<b>2.297</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.63	4.19	3.53	<b>4.1</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.80	15.42	14.83	<b>15.4</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	70.96	73.04	76.40	<b>73.47</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.67	3.62	2.44	<b>3.24</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1028	1065	1293	<b>1129</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 90** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables =  $0.5\%$   
( $PET=70\%+GNM=30\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =0.5% (PET=70%+GNM=30%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-13	DM-14	DM-15		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75		
Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75		
Polímero reciclable (PET)	%	0.35	0.35	0.35		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.15	0.15	0.15		
Peso específico bulk de la briketa (Gmb)	adim.	2.323	2.312	2.312	<b>2.316</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	3.65	4.11	4.11	<b>4.0</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.45	14.85	14.85	<b>14.7</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	74.72	72.35	72.35	<b>73.14</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.64	3.46	3.35	<b>3.48</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1334	1242	1091	<b>1222</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados en las siguientes tablas 91, 92, 93, 94 y 95 para un diseño de mezcla asfáltica modificado, con C.A óptimo = 6.18% y polímeros reciclables = 1.0%.

**Tabla 91** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.0%  
(PET=30%+GNM=70%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.0% (PET=30%+GNM=70%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-16	DM-17	DM-18		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.50	34.50	34.50		
Arena zarandeada	%	28.50	28.50	28.50		
Polímero reciclable (PET)	%	0.30	0.30	0.30		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.70	0.70	0.70		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.294	2.292	2.297	<b>2.294</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.13	4.21	4.02	<b>4.1</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.71	14.78	14.62	<b>14.7</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	71.94	71.53	72.47	<b>71.98</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.85	4.35	4.06	<b>4.09</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1159	1179	1118	<b>1152</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 92** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.0%  
(PET=40%+GNM=60%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.0% (PET=40%+GNM=60%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-19	DM-20	DM-21		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.50	34.50	34.50		
Arena zarandeada	%	28.50	28.50	28.50		
Polímero reciclable (PET)	%	0.40	0.40	0.40		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.60	0.60	0.60		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.279	2.288	2.314	<b>2.294</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	5.19	4.81	3.75	<b>4.6</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.35	15.00	14.05	<b>14.8</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	66.16	67.96	73.35	<b>69.15</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.37	3.91	4.56	<b>4.28</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1261	1416	1398	<b>1358</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 93** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.0%  
(PET=50%+GNM=50%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.0% (PET=50%+GNM=50%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-22	DM-23	DM-24		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.50	34.50	34.50		
Arena zarandeada	%	28.50	28.50	28.50		
Polímero reciclable (PET)	%	0.50	0.50	0.50		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.50	0.50	0.50		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.305	2.309	2.306	<b>2.307</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	3.76	3.57	3.71	<b>3.7</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.46	14.30	14.42	<b>14.4</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	74.02	75.02	74.28	<b>74.44</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.11	4.55	3.70	<b>4.12</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1394	1502	1445	<b>1447</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 94** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables = 1.0%  
( $PET=60\%+GNM=40\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.0% (PET=60%+GNM=40%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-25	DM-26	DM-27		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.50	34.50	34.50		
Arena zarandeada	%	28.50	28.50	28.50		
Polímero reciclable (PET)	%	0.60	0.60	0.60		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.40	0.40	0.40		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.284	2.281	2.297	<b>2.287</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.09	4.20	3.54	<b>3.9</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.34	15.43	14.85	<b>15.2</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	73.30	72.79	76.16	<b>74.08</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.71	3.77	3.77	<b>3.75</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1253	1343	1381	<b>1325</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 95** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables = 1.0%  
( $PET=70\%+GNM=30\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.0% (PET=70%+GNM=30%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-28	DM-29	DM-30		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.50	34.50	34.50		
Arena zarandeada	%	28.50	28.50	28.50		
Polímero reciclable (PET)	%	0.70	0.70	0.70		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.30	0.30	0.30		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.296	2.299	2.259	<b>2.285</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.21	4.10	5.76	<b>4.7</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.94	14.85	16.32	<b>15.4</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	71.84	72.37	64.72	<b>69.64</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.06	3.70	3.64	<b>3.80</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1266	1301	1283	<b>1283</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados en las siguientes tablas 96, 97, 98, 99 y 100 para un diseño de mezcla asfáltica modificado, con C.A óptimo = 6.18% y polímeros reciclables = 1.5%.

**Tabla 96** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.5%  
(PET=30%+GNM=70%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.5% (PET=30%+GNM=70%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-31	DM-32	DM-33		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25		
Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25		
Polímero reciclable (PET)	%	0.45	0.45	0.45		
Polímero reciclable (GNM)	%	1.05	1.05	1.05		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.225	2.271	2.262	<b>2.253</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	6.98	5.04	5.44	<b>5.8</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	16.65	14.92	15.28	<b>15.6</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	58.11	66.20	64.39	<b>62.90</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.30	4.15	4.18	<b>4.21</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	853	1132	1074	<b>1020</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 97** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.5%  
(PET=40%+GNM=60%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.5% (PET=40%+GNM=60%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-34	DM-35	DM-36		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25		
Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25		
Polímero reciclable (PET)	%	0.60	0.60	0.60		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.90	0.90	0.90		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.284	2.269	2.278	<b>2.277</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.52	5.12	4.75	<b>4.8</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.57	15.11	14.78	<b>14.8</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	68.95	66.09	67.83	<b>67.62</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.69	3.99	3.95	<b>3.88</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1282	1251	1243	<b>1259</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 98** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 1.5%  
(PET=50%+GNM=50%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.5% (PET=50%+GNM=50%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-37	DM-38	DM-39		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25		
Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25		
Polímero reciclable (PET)	%	0.75	0.75	0.75		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.75	0.75	0.75		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.283	2.278	2.259	<b>2.273</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.88	5.09	5.89	<b>5.3</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.71	14.91	15.63	<b>15.1</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	66.86	65.84	62.29	<b>65.00</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.59	4.03	4.36	<b>4.00</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1177	1207	1197	<b>1194</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 99** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables = 1.5%  
( $PET=60\%+GNM=40\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.5% (PET=60%+GNM=40%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-40	DM-41	DM-42		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25		
Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25		
Polímero reciclable (PET)	%	0.90	0.90	0.90		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.60	0.60	0.60		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.293	2.290	2.285	<b>2.289</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	3.84	3.93	4.15	<b>4.0</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.47	14.55	14.75	<b>14.6</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	73.49	73.01	71.89	<b>72.80</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.92	3.85	3.90	<b>3.89</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1270	1059	1154	<b>1161</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 100** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables = 1.5%  
( $PET=70\%+GNM=30\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =1.5% (PET=70%+GNM=30%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-43	DM-44	DM-45		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25		
Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25		
Polímero reciclable (PET)	%	1.05	1.05	1.05		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.45	0.45	0.45		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.267	2.269	2.276	<b>2.271</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	5.04	4.92	4.63	<b>4.9</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.55	15.45	15.19	<b>15.4</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	67.58	68.12	69.49	<b>68.40</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.01	3.74	3.76	<b>3.83</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1146	1007	1236	<b>1130</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados en las siguientes tablas 101, 102, 103, 104 y 105 para un diseño de mezcla asfáltica modificado, con C.A óptimo = 6.18% y polímeros reciclables = 2.0%.

**Tabla 101** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 2.0%  
(PET=30%+GNM=70%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =2.0% (PET=30%+GNM=70%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-46	DM-47	DM-48		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.00	34.00	34.00		
Arena zarandeada	%	28.00	28.00	28.00		
Polímero reciclable (PET)	%	0.60	0.60	0.60		
Polímero reciclable (GNM)	%	1.40	1.40	1.40		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.229	2.224	2.207	<b>2.220</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	5.93	6.11	6.82	<b>6.3</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.90	16.06	16.70	<b>16.2</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	62.73	61.97	59.16	<b>61.28</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.99	4.17	4.15	<b>4.10</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	914	880	762	<b>852</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 102** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 2.0%  
(PET=40%+GNM=60%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =2.0% (PET=40%+GNM=60%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-49	DM-50	DM-51		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.00	34.00	34.00		
Arena zarandeada	%	28.00	28.00	28.00		
Polímero reciclable (PET)	%	0.80	0.80	0.80		
Polímero reciclable (GNM)	%	1.20	1.20	1.20		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.217	2.244	2.228	<b>2.230</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	6.64	5.52	6.19	<b>6.1</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	16.47	15.47	16.07	<b>16.0</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	59.69	64.32	61.49	<b>61.83</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.16	3.72	4.18	<b>4.02</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	908	904	859	<b>890</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 103** Resultado diseño para un C.A = 6.18%, polímeros reciclables = 2.0%  
(PET=50%+GNM=50%)

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =2.0% (PET=50%+GNM=50%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-52	DM-53	DM-54		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.00	34.00	34.00		
Arena zarandeada	%	28.00	28.00	28.00		
Polímero reciclable (PET)	%	1.00	1.00	1.00		
Polímero reciclable (GNM)	%	1.00	1.00	1.00		
Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	adim.	2.238	2.241	2.255	<b>2.245</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	5.88	5.76	5.16	<b>5.6</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.83	15.73	15.19	<b>15.6</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	62.88	63.38	66.01	<b>64.09</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.76	4.19	4.10	<b>4.02</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	928	958	1056	<b>981</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 104** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables =  $2.0\%$   
( $PET=60\%+GNM=40\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =2.0% (PET=60%+GNM=40%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-55	DM-56	DM-57		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.00	34.00	34.00		
Arena zarandeada	%	28.00	28.00	28.00		
Polímero reciclable (PET)	%	1.20	1.20	1.20		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.80	0.80	0.80		
Peso específico bulk de la briketa (Gmb)	adim.	2.258	2.235	2.249	<b>2.247</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.96	5.93	5.36	<b>5.4</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.24	16.10	15.59	<b>15.6</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	67.42	63.16	65.61	<b>65.40</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.22	4.10	4.20	<b>4.17</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1192	1001	1070	<b>1088</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

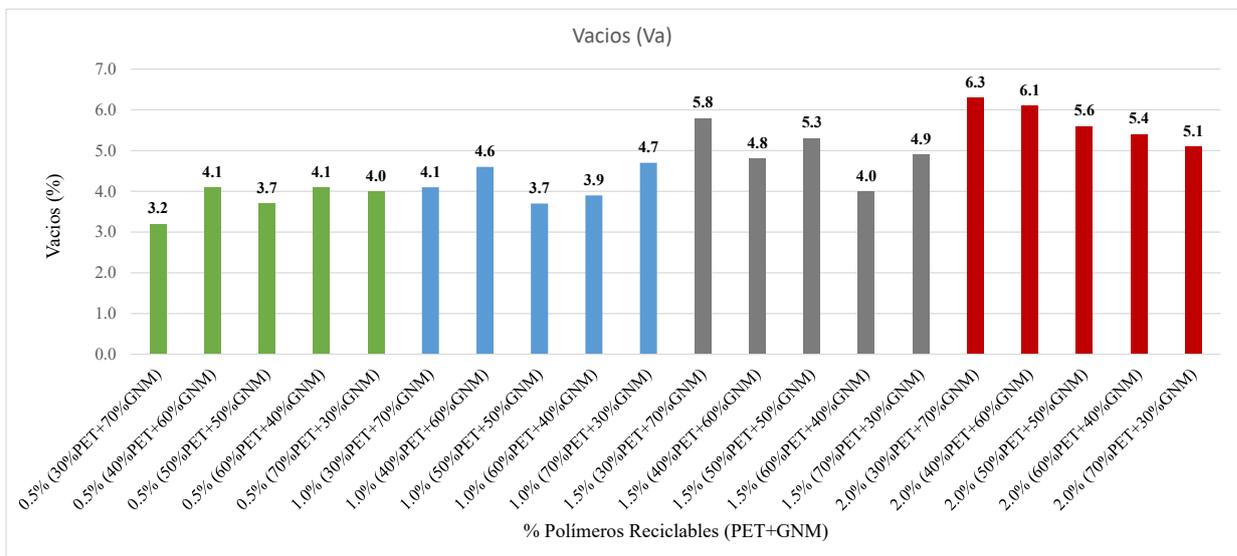
**Tabla 105** Resultado diseño para un  $C.A = 6.18\%$ , polímeros reciclables =  $2.0\%$   
( $PET=70\%+GNM=30\%$ )

ENSAYO MARSHALL CON C.A OPTIMO = 6.18%, POLÍMEROS RECICLABLES =2.0% (PET=70%+GNM=30%)						
CARACTERÍSTICAS	UND.	BRIQUETAS			PROMEDIO	ESPECIFICACIÓN TECNICA
		DM-58	DM-59	DM-60		
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18	<b>6.18</b>	
Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00		
Arena chancada	%	34.00	34.00	34.00		
Arena zarandeada	%	28.00	28.00	28.00		
Polímero reciclable (PET)	%	1.40	1.40	1.40		
Polímero reciclable (GNM)	%	0.60	0.60	0.60		
Peso específico bulk de la briketa (Gmb)	adim.	2.260	2.259	2.239	<b>2.253</b>	
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.80	4.82	5.68	<b>5.1</b>	3 - 5
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.32	15.33	16.09	<b>15.6</b>	Min. 14
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	68.64	68.54	64.73	<b>67.30</b>	
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.34	4.41	4.43	<b>4.39</b>	2 - 4
Estabilidad corregida promedio	kg	1166	1130	973	<b>1090</b>	Min. 831

Fuente: Elaboración propia.

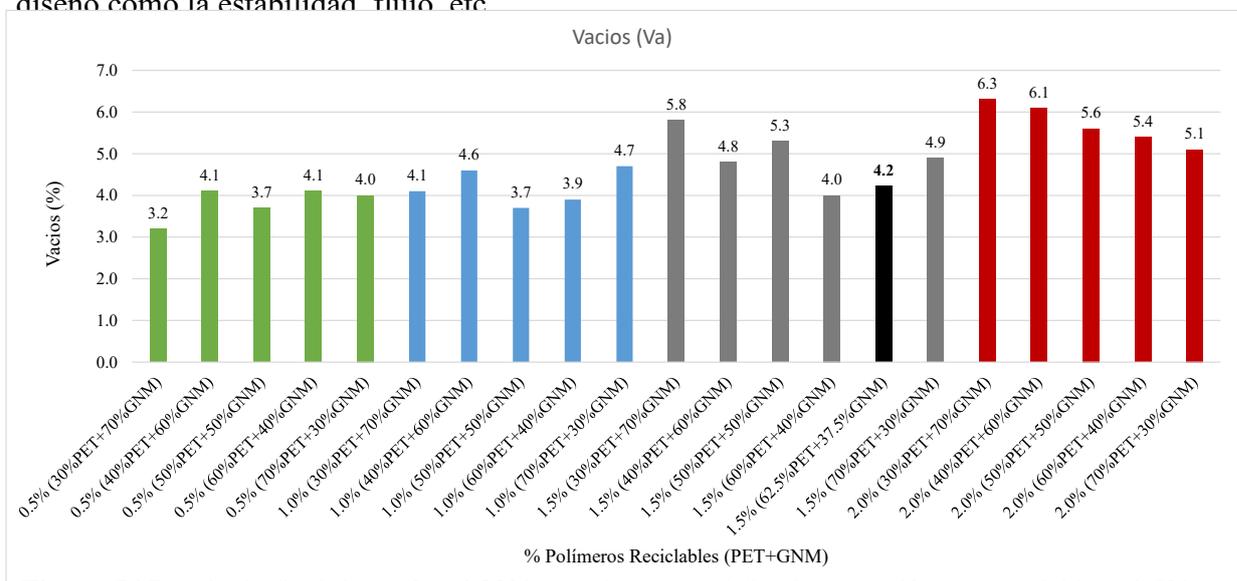
### A) Vacíos (Va) para diseño modificado

Con estos resultados obtenidos se realizan un análisis de cada diseño elaborado, en el siguiente gráfico 73 se muestra los vacíos (Va) de la mezcla asfáltica modificada para cada porcentaje de polímeros reciclables.



**Figura 73** Resultado de vacíos para diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%  
Fuente: Elaboración propia.

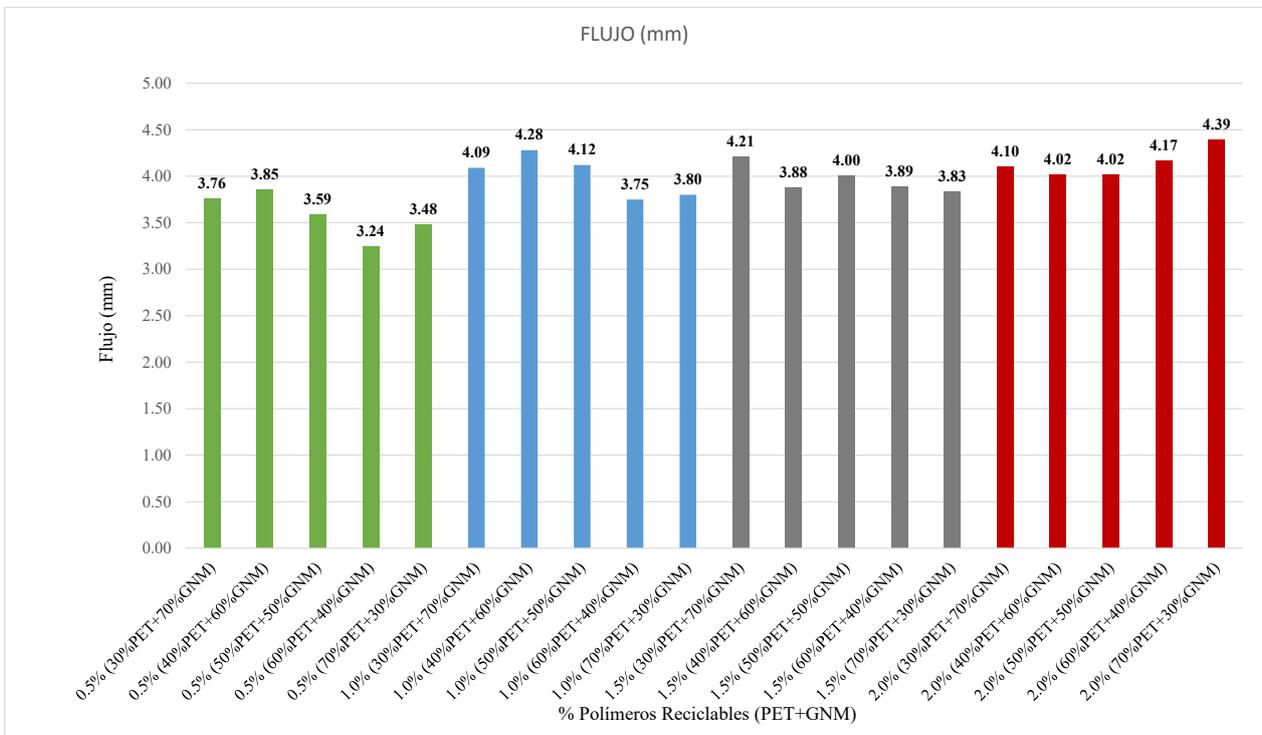
Los vacíos deben estar en el rango de 3 a 5% según la normativa, y analizando el gráfico 73, vemos que hay valores que están dentro y fuera de estos rangos las cuales se rechazan, al analizar, realizar las interpolaciones e interpretar el gráfico 73 se calcula un valor de vacíos = 4.23%, tal como se muestra el gráfico 74 la cual se encuentran dentro de los límites establecidos. Este valor de vacíos calculado tiene una relación con los demás parámetros de diseño como la estabilidad flujo, etc.



**Figura 74** Resultado final de vacío =4.23% para diseño modificado con polímero reciclable = 1.5% (PET=62.5%+GNM=37.5%)  
Fuente: Elaboración propia.

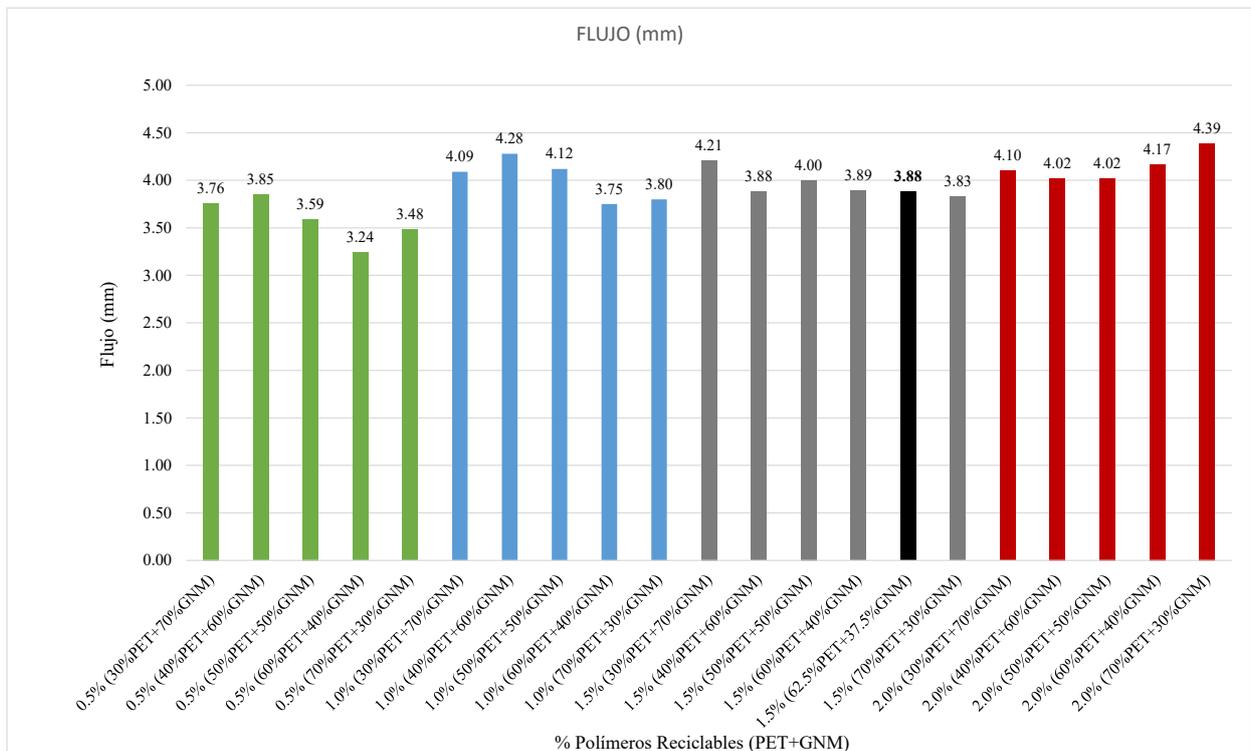
### B) Flujo para diseño modificado

Con estos resultados obtenidos se realizan un análisis de cada diseño elaborado, en el siguiente gráfico 75 se muestra los flujos de la mezcla asfáltica modificada para cada porcentaje de polímeros reciclables.



**Figura 75** Resultado de flujo Marshall para diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%  
Fuente: Elaboración propia.

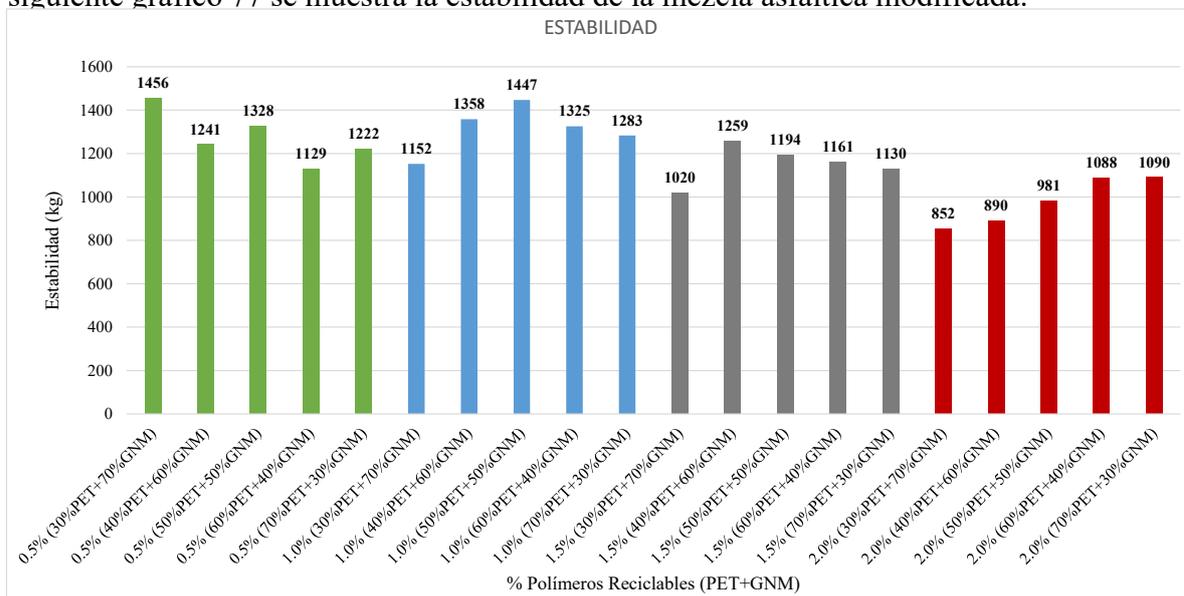
El flujo Marshall en el diseño modificado debe estar en el rango de 2 a 4 mm según la normativa y analizando el gráfico 75 vemos que hay valores que sobrepasan estos límites, realizando interpolaciones y analizando los resultados de cada incremento porcentual de polímeros reciclables nos da como resultado final el flujo = 3.88 mm para el diseño de polímeros reciclables igual a 1.5% (PET=62.5% + GNM=37.5%) como se aprecia en la figura



**Figura 76** Resultado final del flujo = 3.88 mm para diseño modificado con polímero reciclable = 1.5% (PET=62.5%+GNM=37.5%)  
Fuente: Elaboración propia.

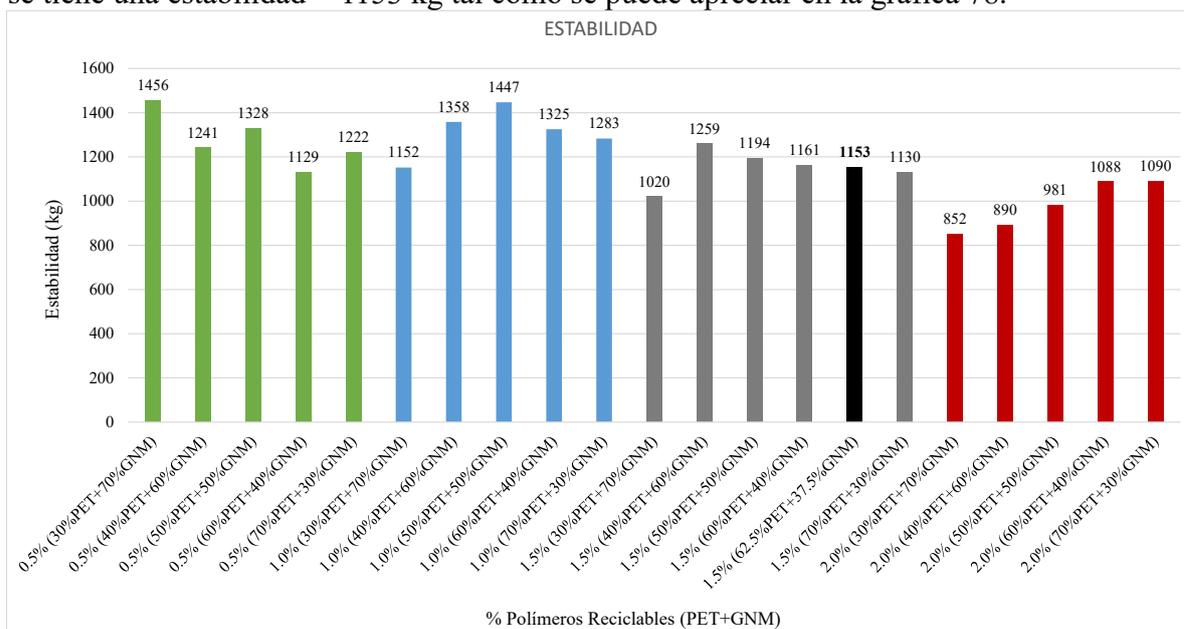
### C) Estabilidad para diseño modificado

Con estos resultados obtenidos se realizan un análisis de cada diseño elaborado, en el siguiente gráfico 77 se muestra la estabilidad de la mezcla asfáltica modificada.



**Figura 77** Resultado de la estabilidad Marshall para diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%  
Fuente: Elaboración propia.

El valor mínimo de la estabilidad dada por las especificaciones técnicas del manual de carreteras es igual a 8.15 kN (831 kg), con este valor al analizar el gráfico 77, se ve que todas las combinaciones y diseños con polímeros reciclables cumplen con este requisito, por lo tanto para un diseño con polímeros reciclables igual a 1.5% (PET=62.5% + GNM=37.5%) se tiene una estabilidad = 1153 kg tal como se puede apreciar en la gráfica 78.



**Figura 78** Resultado final de la estabilidad = 1153 kg para diseño modificado con polímero reciclable = 1.5% (PET=62.5%+GNM=37.5%)  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente al realizar el análisis de los resultados para un C.A = 6.18% y polímeros reciclables igual a 0.5%, 1.0%, 1.5%, y 2.0% que se adiciona en remplazo del agregado fino en estos porcentajes. Al realizar estas gráficas analizamos los diseños, y mediante interpolaciones se logra obtener un diseño de mezcla asfáltica modificado con polímeros reciclables óptimos, estos valores hallados están dentro del rango de las especificaciones técnicas generales para construcción del manual de carreteras (MTC, 2013) que se muestran en las tablas 77, 78 y 79 respectivamente.

En la tabla 106, se muestra el resultado final de un diseño de mezcla asfáltica óptimo con adición de polímeros reciclables, cuyos valores obtenidos están dentro del rango de las especificaciones técnicas establecidas.

**Tabla 106** Resultado final de diseño mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables.

RESULTADO DEL ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18% Y POLIMEROS RECICLABLES = 1.50% (PET=62.5% + GNM=37.5%)				
CARACTERÍSTICAS	UND.	VALOR	ESPECIFICACIÓN TECNICA	VALIDEZ
Nº de golpes por lado		75	75	Cumple OK
Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	-	Cumple OK
Polímeros reciclables (PET+GNM)	%	1.50% (PET=62.5%+GNM=37.5%)	-	Cumple OK
Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.23	3 - 5	Cumple OK
Estabilidad corregida promedio	kg	1153	Min. 831	Cumple OK
Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.88	2 - 4	Cumple OK
Peso especifico bulk de la briqueta (Gmb)	g/cm3	2.285	-	Cumple OK
Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.80	Min. 14	Cumple OK
Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	71.70	65-75	Cumple OK
Relación de estabilidad/flujo	kg/cm3	2974	1700-4000	Cumple OK

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis de la estabilidad Marshall vemos que en el diseño convencional para un C.A. óptimo = 6.18%, nos da como resultado un valor de 1358 kg y para un diseño modificado con C.A. óptimo = 6.18% y polímeros reciclables igual a 1.5% (PET=62.5% + GNM=37.5% ) nos da un valor de 1153 kg. Al realizar un cálculo matemático vemos que hay un reducción de la estabilidad Marshall en 15.10% respecto al diseño convencional. Pero este valor 1153 kg > 831 kg, por lo tanto cumple las especificaciones.

De igual manera el flujo Marshall para el diseño convencional es 3.49% y para un diseño modificado con C.A. óptimo = 6.18% y polímeros reciclables igual a 1.5% (PET=62.5% + GNM=37.5% ) nos da un valor de 3.88 mm, estos valores están dentro los especificaciones establecidas (2 - 4 mm). Al realizar el cálculo vemos que hay un aumento de 11.17% respecto al diseño de mezcla asfáltica convencional.

De igual manera al analizar los vacíos vemos que para ambos diseños cumplen con las especificaciones (3 - 5 %). Los vacíos son valores muy importantes en el diseño de mezclas

asfálticas en caliente ya que este valor influye directamente en el resto de las propiedades volumétricas. En la presente investigación tenemos vacíos para el diseño convencional igual a 4.15% y para el diseño con polímeros reciclables igual a 1.5% (PET=62.5% + GNM=37.5%) es igual a 4.23%, ambos cumplen con los requisitos.

### 4.2.1.3 Ensayo de desgaste por cántabro

#### A) Desgaste por cantabro convencional

Se muestra el resultado de la prueba de desgaste en la siguiente tabla 107.

**Tabla 107** Resultado de desgaste de diseño convencional

DESGASTE POR CANTABRO CONVENCIONAL CON C.A OPTIMO = 6.18%					
POLIMERO RECICLABLE = 0%		(PET=0%		GNM=0% )	
Nº	MASA	MASA	TEMPERATURA	DESGASTE	PROMEDIO
BRIQUETA	INICIAL (g)	FINAL (g)	(°C)	(%)	DESGASTE (%)
CTC-1	990.2	975.8	22.3 °C	1.45	
CTC-2	995.8	982.7	22.3 °C	1.32	
CTC-3	990.4	981.7	22.3 °C	0.88	<b>1.31</b>
CTC-4	991.1	976.1	22.3 °C	1.51	
CTC-5	993.4	979.4	22.3 °C	1.41	

Fuente: Elaboración propia.

#### B) Desgaste por cantabro modificado

Se muestra el resultado de la prueba de desgaste en la siguiente tabla 108.

**Tabla 108** Resultado de desgaste de diseño modificado con polímeros reciclables

DESGASTE POR CANTABRO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%					
POLIMERO RECICLABLE OPTIMO =1.50%		(PET=62.50%		GNM=37.50% )	
Nº	MASA	MASA	TEMPERATURA	DESGASTE	PROMEDIO
BRIQUETA	INICIAL (g)	FINAL (g)	(°C)	(%)	DESGASTE (%)
CTM-1	1001.7	989.4	22.4 °C	1.23	
CTM-2	994.3	984.7	22.4 °C	0.97	
CTM-3	988.8	975.0	22.4 °C	1.40	<b>1.18</b>
CTM-4	994.2	980.3	22.4 °C	1.40	
CTM-5	991.1	982.0	22.4 °C	0.92	

Fuente: Elaboración propia.

De la tablas 107 y108, al realizar los cálculos se tiene un desgaste = 1.31% para el diseño convencional y un desgaste = 1.18% para el diseño modificado con polímeros reciclables. Al realizar un análisis comparativo de los resultados finales de desgaste, vemos que hay una reducción del desgaste modificado con polímeros reciclables en un 9.92% con respecto al diseño de mezcla asfáltica convencional. Finalmente vemos que hay una mejora en el

desgaste y durabilidad al usar polímeros reciclables (PET Y GNM).

#### 4.2.1.4 Ensayo de rueda cargada de Hamburgo (ahuellamiento)

Se muestra en la siguiente tabla 109 el resultado del ensayo rueda cargada de Hamburgo para ambos diseños.

**Tabla 109** Resultado de rueda de Hamburgo

Ensayo de Rueda de Hamburgo AASHTO T 324			
Descripción	und	Diseño Convencional	Diseño Modificado con PET+GNM
Temperatura de ensayo	°C	50	50
Velocidad de rueda	pasadas/min	52	52
Cemento Asfáltico óptimos	%	6.18	6.18
Polímeros reciclables óptimos	%	0	1.5 (PET=62.5% + GNM=37.5%)
Densidad Máxima teórica	g/cm <sup>3</sup>	2.413	2.38
Porcentaje de Vacíos (Va)	%	6.18	7.0
Profundidad final	mm	12.49	12.5
Pasadas de Rueda Hamburgo	pasadas	3008	4042

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 109, vemos que en el diseño convencional se obtuvo 3008 pasadas y en el diseño modificado con polímeros reciclables (PET + GNM) se obtuvo 4042 pasadas. Ambos diseños alcanzaron la profundidad de 12.50 mm.



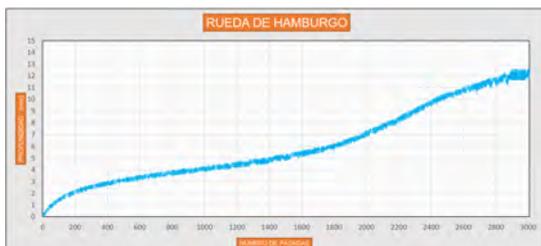
(a) Resultado del diseño Convencional.



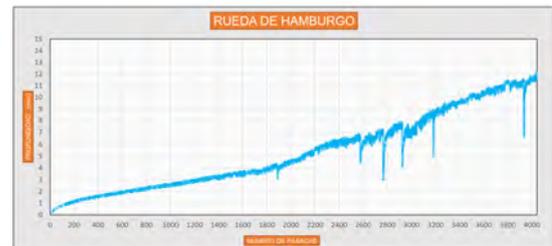
(b) Resultado del diseño Modificado.

**Figura 79** Resultados de los especímenes de doble núcleo al finalizar el ensayo.

Fuente: Elaboración propia.



(a) Gráfica final del ensayo del diseño Convencional.



(b) Gráfica final del ensayo del diseño Modificado.

**Figura 80** Gráficas números pasadas vs la profundidad del diseño de mezcla asfáltica convencional y modificada.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico 80 a) podemos analizar e interpretar que el diseño convencional, presenta una curva continua lo que representa que el material esta bien graduado y hay una adherencia adecuada. Al ver el gráfico 80 b) podemos interpretar que el diseño modificado con polímeros reciclables hasta los 2600 pasadas presenta condiciones similares al diseño convencional, pero pasado estos rangos, los materiales se desprenden y baja la adherencia, pero al usar el PET y GNM, soporta mas pasadas debido a que estos materiales presentan propiedades elásticas y disminuyen el ahuellamiento de pavimentos asfálticos.

Vemos que la mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclables aumentó en un 34.38% en su resistencia a deformación permanente no recuperable respecto al diseño convencional.

#### 4.2.1.5 Análisis comparativo a nivel de costos entre las mezclas asfálticas modificadas versus las convencionales

##### Cálculo de materiales:

Se realiza el cálculo de materiales que intervienen para la construcción de 1 m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica.



**Figura 81** Carpeta asfáltica de 1m<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Donde el peso es:

Peso específico de la mezcla asfáltica compactada es:

$$G_{mb} = 2304 \text{ kg/m}^3$$

$$Peso_{carpeta\_asfaltica\_1m^2} = 0.0508 \text{ m}^3 \times 2304 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 117.04 \text{ kg}$$

##### Cemento asfáltico:

La determinación de la cantidad de cemento asfáltico proviene del diseño de mezcla asfáltica convencional, de donde se obtiene C.A óptimo = 6.18%

Cantidad de cemento asfáltico = 6.18%(117.04 kg) = 7.23 kg

Cantidad de cemento asfáltico = 1.907 gal

**Cálculo de materiales para el análisis de precios unitarios (Diseño convencional)**

El porcentaje que compone cada agregado proviene de realizar la granulometría de cada material y luego de realizar la combinación teórica de la mezcla asfáltica, de la tabla 28, se obtiene:

- Piedra chancada (PC) = 36%
- Arena Chancada (AC) = 35%
- Arena zarandeada (AZ) = 29%

Se realiza el cálculo de cada material:

$$V = 0.0508m^3 - 6.18\%(0.0508m^3)$$

$$V = 0.048m^3$$

Donde:

$$PC = 36\%(0.048m^3) = 0.01728m^3$$

$$AC = 35\%(0.048m^3) = 0.0168m^3$$

$$AZ = 29\%(0.048m^3) = 0.01392m^3$$

**Cálculo de materiales para el análisis de precios unitarios. (Diseño modificado)**

El porcentaje que compone cada agregado proviene de realizar la granulometría de cada material y luego de realizar la combinación teórica de la mezcla asfáltica modificada, de la tabla 38, se obtiene:

- Piedra chancada = 36%
- Arena chancada = 34.25%
- Arena zarandeada = 28.25%
- Polímeros reciclables= 1.5%

$$PC = 0.01728m^3$$

$$AC = 0.01657m^3$$

$$AZ = 0.01369m^3$$



### Granos de neumático molido fuera de uso (GNM)

**RUC 20517772390**  
**BOLETA DE VENTA**  
**ELECTRÓNICA**  
**B001-000678**

**NORT SUL S.R.L.**  
CALLOS NOGALES MZA. L LOTE. 5 URB. SHANGRILA  
PUENTE PIEDRA - LIMA - LIMA  
TELÉFONO 999449360

**DATOS DEL CLIENTE**  
DNI : 47623254  
DENOMINACIÓN : ROJAS QUINTO DANNY  
DIRECCIÓN : - JIRON PORFIRIO MENESES N° 225 HUANTA - AYACUCHO

FECHA EMISIÓN : 30/09/2022  
FECHA DE VENC. : 30/09/2022  
MONEDA : SOLES

CANT.	UM	CÓD.	DESCRIPCIÓN	V/U	P/U	IMPORTE
5	KGM	C003	CAUCHO NH G-1	1.695	2.000	10.00

GRAVADA S/ 8.47  
IGV 18.00 % S/ 1.53  
TOTAL S/ 10.00

IMPORTE EN LETRAS: DIEZ CON 00/100 SOLES

**Figura 83** Cotización de granos de neumático molido.

Fuente: Elaboración propia.

Costo = Precio + Precio de transporte

Costo = 2.0 + 0.5

Costo= S/. 2.50

### Tereftalato de polietileno (PET)

**INDUSTRIA DEL PLÁSTICO GW**  
Venta de plástico en general  
pedidos por mayor y menor

R.U.C. 20604052590  
**PROFORMA**  
**Nº 006229**

Mz. "E" Lt. 15 Asoc. San Pedro - Puente Piedra - Lima - Lima  
Cel.: 924 480 197 - 936 512 767

DIA: 30 MES: 09 AÑO: 22

Señor(es): Danny Rojas Hinojosa  
Dirección: \_\_\_\_\_ D.N.I.: 47623254

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNIT.	IMPORTE
	VENTA DE 5 KILOS DE PRODUCTO TERTIARIO PET CRISTAL		20.00
	UNIVERSIDAD Sna CRISTOBAL DE HUANTANA.		
	5/4.00 KILOS		

Gracias por su preferencia

TOTAL S/ **20.00**

Récbi Conforme

**Figura 84** Cotización de pet.

Fuente: Elaboración propia.

Costo = Precio + Precio de transporte

Costo = 4.0 + 0.5

Costo= S/. 4.50

### Cemento asfáltico 120/150 repsol



Lima, 15 de julio de 2022

### LISTA DE PRECIOS DE ASFALTOS

Vigencia: a partir del 15 de julio del 2022

PRODUCTO	PRECIO (soles/galón)
<b>ASFALTOS LÍQUIDOS</b>	<b>Precio S/Gln</b>
MC 30	16.50
<b>ASFALTOS SÓLIDOS</b>	<b>Precio S/Gln</b>
CA 60/70	14.95
CA 85/100	14.95
CA 120/150	14.95

#### Notas:

- ✓ Los precios no incluyen IGV.
- ✓ Precios Ex Planta – Terminal Pampilla.
- ✓ Precios con valores referenciales y se reserva el derecho de establecer condiciones comerciales pactadas con cada cliente.
- ✓ Recosac se reserva el derecho de: (i) modificar los precios a su discreción y (ii) aplicar condiciones comerciales adicionales; según lo pactado previamente con cada cliente.

#### Gerencia VVDD y Asfaltos



Figura 85 Cotización del cemento asfáltico PEN 120/150

Fuente: (Repsol Refinería la Pampilla S.A.A, 2022)

Se le aplica el IGV = 18%.

Costo = Precio por galón + IGV + Precio de transporte

Costo = 14.95 + 2.69 + 0.5

Costo= S/. 18.14

## Combustible diesel

**ESAM SRL.**  
**ESTACION DE SERVICIOS AMERICANO S.R.Ltda.**  
 Jr. Gervasio Santillana Nro. 1090 Huanta - Huanta - Ayacucho  
 R.U.C.:20129227011

BOLETA DE VENTA ELECTRONICA  
 B001-0058851

FECHA DE EMISION:01/10/2022 11:48:47  
 Cliente : Clientes Varios  
 Dirección:  
 Nro.Doc. : DNI 00000000  
 Forma De Pago : Contado  
 Placa : .

Codigo	Descripción	Cant.	P.Unit.	Total
P DIESEL B5 S-50 UV		1.000	19.890	19.89
	Op. Gravada S/			16.86
	I.G.V. S/			3.03
	<b>Total A Pagar S/</b>			<b>19.89</b>

SON:Diecinueve Y 89/100 SOLES



Representación impresa de la Boleta de Venta Electrónica Ud. puede consultar con su Clave SOL

GRACIAS POR SU PREFERENCIA

**Figura 86** Cotización del combustible diesel.

Fuente: (Obtenido de estación de servicios americano SRLtda.)

## Cotización de insumos

*"La Bendición Viene de Dios"*  
**MULTI LLANTAS Y REPUESTOS "N&M"**  
 De: Tito Gutiérrez Mily  
 VENTA DE LLANTAS, ACEITES, FILTROS, MUEBLES,  
 PERNOS BATERIAS Y TODO TIPO DE REPUESTOS  
**SERVICIO MECANICO**  
 AV. GERVASIO SANTILLANA NRO. 1597 - HUANTA  
 HUANTA - AYACUCHO  
 Cel.: 954701423 / 986602534 / 982086650

R.U.C. 10708062109  
**NOTA DE VENTA**  
**PROFORMA**  
 001477

Huanta, 03 de 10 de 2022

Señor(es): Dany Rojas

Dirección: \_\_\_\_\_ D.N.I.: \_\_\_\_\_

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	IMPORTE
01	Acetia 140 S. x 6ln		48.0
01	Acetia Hectolitro 65.		40.0
01	Refrigeración <del>para</del> para 337. 6ln		35.0
01	1kg Grasa Dilg.		15.0
01	llanta 12x20 Pasa Apuño		1.400.0

**Figura 87** Cotización insumos para el cálculo de hora máquina.

Fuente: (Elaboración propia)

## Tabla salarial y beneficios sociales para el periodo 2021-2022

Tabla 110 Tabla salarial de construcción civil periodo 2021-2022.

<b>TABLA DE SALARIOS Y BENEFICIOS SOCIALES PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIÓN CIVIL (RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 183-2021-TR Del 01.06.2021 al 31.05.2022)</b>						
<b>OPERARIO</b>					<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>
Jornal Básica	74.30	* 6 días	445.80	Diario	11.15	7.43
D.S.O.	12.38	* 6 días	74.30	Semanal	66.87	44.58
BUC 32 %	23.78	* 6 días	142.66			
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00			
			-----			
Total Salarios			710.76	<b>Gratific.</b>	<b>Fiest. Patri.</b>	<b>Fiest. Navid.</b>
Descuento ONP 13%			86.16	Diario	14.15	19.81
Descuento CONAF. 2%			<u>10.40</u>	Mensual	424.57	594.4
Pago Neto Semanal			614.20	Total	2972.00	2972.00
				Ley N.º 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>OFICIAL</b>					<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>
Jornal Básico	58.45	* 6 días	350.70	Diario	8.77	5.85
D.S.O.	9.74	* 6 días	58.45	Semanal	52.61	35.07
BUC 30 %	17.54	* 6 días	105.21			
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00			
			-----			
Total Salarios			562.36	<b>Gratific.</b>	<b>Fiest. Patri.</b>	<b>Fiest. Navid.</b>
Descuento ONP 13%			66.87	Diario	11.13	15.59
Descuento CONAF. 2%			<u>8.18</u>	Mensual	334.00	467.6
Pago Neto Semanal			487.31	Total	2338.00	2338.00
				Ley N.º 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>PEÓN</b>					<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>
Jornal Básico	52.50	* 6 días	315.00	Diario	7.88	5.25
D.S.O.	8.75	* 6 días	52.50	Semanal	47.25	31.50
BUC 30 %	15.75	* 6 días	94.50			
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00			
			-----			
Total Salarios			510.00	<b>Gratific.</b>	<b>Fiest. Patri.</b>	<b>Fiest. Navid.</b>
Descuento ONP 13%			60.06	Diario	10.00	14.00
Descuento CONAF. 2%			<u>7.35</u>	Mensual	300.00	420
Pago Neto Semanal			442.59	Total	2100.00	2100.00
				Ley N.º 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>Asignación escolar por hijo</b>				<b>HORAS EXTRAS</b>		
	Diario	Mensual	<b>Simples</b>	<b>60%</b>	<b>100%</b>	<b>Indemniz.</b>
<b>OPERARIO</b>	6.19	185.75	9.29	14.86	18.58	1.39
<b>OFICIAL</b>	4.87	146.13	7.31	11.69	14.61	1.10
<b>PEÓN</b>	4.38	131.25	6.56	10.50	13.13	0.98

Fuente: Obtenido de (Capeco, 2022)

Se realiza el cálculo de hora máquina de las diferentes maquinarias usadas:

### Cargador frontal

**Tabla 111 Costo horario de posesión cargador frontal.**

#### COSTO HORARIO DE POSESION DE CARGADOR FRONTAL

##### I. DATOS GENERALES

PRODUCTO	Cargador frontal		
POTENCIA	160-195 HP		
CAPACIDAD	3.5 M3		
PESO DE OPERACIÓN	18585 KG		
VALOR DE ADQUISICION (sin/IGV)	Va = S/. 835837.9 (SIN IGV)		
VIDA ECONOMICA UTIL	VEU = n 5 años	2000 horas	
VALOR DE RESCATE	Vr = 25% de Va		



##### II. SOLUCION

##### 1. VALOR DE RESCATE (Vr)

$$Vr = \%Va \quad Vr \quad S/. \quad 208959.48 \quad /año$$

##### 2. CALCULO DE LA INVERSION MEDIA ANUAL (IMA):

$$IMA = \frac{Va(n+1) + Vr(n-1)}{2n} \quad IMA \quad S/. \quad 585086.54 \quad /año$$

##### 3. COSTO HORARIO DE LA DEPRECIACION (D)

$$D = \frac{Va - Vr}{VEU} \quad D \quad S/. \quad 125375.69 \quad /año$$

$$D \quad S/. \quad 62.69 \quad /hora$$

##### 4. COSTO HORARIO DE LOS INTERESES (I)

$$I = \frac{IMA \times \% \text{ tasa anual}}{VEU} \quad I \quad S/. \quad 39.58 \quad /hora$$

TAMN 13.53% año 2022

##### 5. COSTO HORARIO DE SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE (SIA)

Seguros	:	3.50%	Va (no mayor a S/. 100000) = 3.5%
Impuestos	:	0.00%	Va <= S/. 1000000=0.0% / Va > S/. 1000000=0.4%
Almacenaje	:	1.00%	1.00%
<b>Total</b>	:	<b>4.50%</b>	

$$SIA = \frac{IMA \times \%(\sum \text{tasas anuales})}{T} \quad SIA \quad S/. \quad 13.16 \quad /hora$$

##### 6. COSTO TOTAL HORARIO DE POSESION

DEPRECIACION	:	S/. 62.69 /hora
INTERESES	:	S/. 39.58 /hora
SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE	:	S/. 13.16 /hora
<b>TOTAL COSTO HORARIO DE POSESION</b>	:	<b>S/. 115.43 /hora</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 112** Costo horario de operación de cargador frontal.**COSTO HORARIO DE OPERACIÓN DE CARGADOR FRONTAL****I. DATOS**

DATOS GENERALES	CARGADOR FRONTAL		
<b>COMBUSTIBLE</b>			
Consumo de petróleo (promedio)	:	4.5	gal/hora
<b>LUBRICANTES</b>			
Consumo de aceite motor grado 140	:	0.16	gal/hora
Consumo de aceite hidráulico	:	0.004	gal/hora
Consumo de aceite de transmisión	:	0.004	gal/hora
Consumo de aceite de sistema de vibración	:	0.008	gal/hora
Grasa	:	0.08	libras/hora
Refrigerantes	:	0.002	gal/hora
<b>FILTROS</b>	:	20.00%	(Combustible + lubricante)
<b>Neumáticos</b>	:	4	und
Vida útil del neumático	:	2000	horas
<b>OPERADOR DE EQUIPO PESADO</b>	:	1.5 HH	de operario de construcción civil

**II SOLUCION****1. COMBUSTIBLE**

Petróleo	S/.	<b>75.87</b>	<b>/hora</b>
----------	-----	--------------	--------------

**2. LUBRICANTE Y GRASAS**

Aceite de motor	S/.	6.30	/hora
-----------------	-----	------	-------

Aceite hidráulico	S/.	0.13	/hora
-------------------	-----	------	-------

Aceite de transmisión	S/.	0.16	/hora
-----------------------	-----	------	-------

Aceite de sistema de transmisión	S/.	0.31	/hora
----------------------------------	-----	------	-------

Grasas	S/.	0.54	/hora
--------	-----	------	-------

Costo de lubricantes	S/.	<b>6.90</b>	<b>/hora</b>
----------------------	-----	-------------	--------------

Costo de grasas	S/.	<b>0.54</b>	<b>/hora</b>
-----------------	-----	-------------	--------------

**3. FILTROS**

20%(C+L+G)	S/.	<b>16.66</b>	<b>/hora</b>
------------	-----	--------------	--------------

**4. REFRIGERANTES**

Costo de refrigerante	S/.	<b>0.06</b>	<b>/hora</b>
-----------------------	-----	-------------	--------------

**5. NEUMÁTICOS**

Costo de neumático	S/.	<b>7.00</b>	<b>/hora</b>
--------------------	-----	-------------	--------------

**6. COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO**

90% Va	S/.	752254.128	
--------	-----	------------	--

75% repuestos	S/.	<b>564190.596</b>	S/.	<b>56.42</b>	<b>/hora</b>
---------------	-----	-------------------	-----	--------------	--------------

25% mano de obra	S/.	<b>188063.532</b>	S/.	<b>18.81</b>	<b>/hora</b>
------------------	-----	-------------------	-----	--------------	--------------

**6. COSTO OPERADOR ESPECIALIZADO**

Costo operador	S/.	<b>28.35</b>	<b>/hora</b>
----------------	-----	--------------	--------------

**7. TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN**

TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN	S/.	<b>210.61</b>	<b>/hora</b>
----------------------------------	-----	---------------	--------------

COSTO TOTAL DE EQUIPO = Costo de posesión + Costo de operación

<b>COSTO TOTAL HORARIO DE CARGADOR FRONTAL (Con operador) =</b>	<b>S/.</b>	<b>326.04</b>	<b>/hora</b>	SIN IGV
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE CARGADOR FRONTAL (Con operador) =</b>	<b>S/.</b>	<b>384.73</b>	<b>/hora</b>	IGV

Fuente: Elaboración propia.

## Grupo electrógeno

**Tabla 113** Costo horario de posesión de grupo electrógeno.

### COSTO HORARIO DE POSESION DE GRUPO ELECTRÓGENO

#### I. DATOS GENERALES

PRODUCTO	GRUPO ELECTRÓGENO	
MODELO		
POTENCIA	380 HP	
CAPACIDAD	250 KW	
VALOR DE ADQUISICION (sin/IGV)	Va = S/. 410824.5	
VIDA ECONOMICA UTIL (VEU)	VEU = n 3 años	4000 horas anuales
VALOR DE RESCATE	Vr = 25% de Va	

#### II. SOLUCION

##### 1. VALOR DE RESCATE (Vr)

$$Vr = \%Va \quad Vr \quad S/. \quad 102706.12 \quad /año$$

##### 2. CALCULO DE LA INVERSION MEDIA ANUAL (IMA):

$$IMA = \frac{Va(n+1) + Vr(n-1)}{2n} \quad IMA \quad S/. \quad 308118.37 \quad /año$$

##### 3. COSTO HORARIO DE LA DEPRECIACION (D)

$$D = \frac{Va - Vr}{VEU} \quad D \quad S/. \quad 102706.12 \quad /año$$

$$D \quad S/. \quad 25.68 \quad /hora$$

##### 4. COSTO HORARIO DE LOS INTERESES (I)

$$I = \frac{IMA \times \% \text{ tasa anual}}{VEU} \quad I \quad S/. \quad 10.42 \quad /hora$$

TAMN 13.53% año 2022

##### 5. COSTO HORARIO DE SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE (SIA)

Seguros	:	3.50%	Va (no mayor a S/. 100000) = 3.5%
Impuestos	:	0.00%	Va <= S/. 1000000 = 0.0% / Va > S/. 1000000 = 0.4%
Almacenaje	:	1.50%	1.50%
<b>Total</b>	:	<b>5.00%</b>	

$$SIA = \frac{IMA \times \%(\sum \text{tasas anuales})}{VEU} \quad SIA \quad S/. \quad 3.85 \quad /hora$$

##### 6. COSTO TOTAL HORARIO DE POSESION

DEPRECIACION	:	S/. 25.68 /hora
INTERESES	:	S/. 10.42 /hora
SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE	:	S/. 3.85 /hora
<b>TOTAL COSTO HORARIO DE POSESION</b>	:	<b>S/. 39.95 /hora</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 114** Costo horario de operación de grupo electrógeno.**COSTO HORARIO DE OPERACIÓN DE GRUPO ELECTRÓGENO****I. DATOS**

DATOS GENERALES Grupo electrógeno de 380 hp

**COMBUSTIBLE**

Consumo de petróleo (promedio) : 2.18 gal/hora

**LUBRICANTES**

Consumo de aceite : 0.32 gal/hora

Grasa : 0.15 libras/hora

**FILTROS** : 20.0% (Combustible + lubricante)**OPERADOR DE EQUIPO PESADO** : 1.5 HH de operario de construcción civil**II SOLUCION****1. COMBUSTIBLE**

Petróleo S/. 36.75 /hora

**2. LUBRICANTE Y GRASAS**

Aceite S/. 12.60 /hora

Grasas S/. 1.01 /hora

Costo de lubricantes S/. 12.60 /hora

Costo de grasas S/. 1.01 /hora

**3. FILTROS**

20%(C+L+G) S/. 10.07 /hora

**4. COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO**

90% Va S/. 369742.04

75% repuestos S/. 277306.5308 S/. 23.11 /hora

25% mano de obra S/. 92435.51025 S/. 7.70 /hora

**5. COSTO OPERADOR ESPECIALIZADO**

Costo operador S/. 28.35 /hora

**6. TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN**

TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN S/. 119.60 /hora

COSTO TOTAL DE EQUIPO = Costo de posesión + Costo de operación

<b>COSTO TOTAL HORARIO DE GRUPO ELECTROGENO (Con operador) =</b>	<b>S/.</b>	<b>159.55</b>	<b>/hora</b>	<b>SIN IGV</b>
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE GRUPO ELECTROGENO (Con operador) =</b>	<b>S/.</b>	<b>188.27</b>	<b>/hora</b>	<b>IGV</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Planta de asfalto

**Tabla 115** Costo horario de posesión de planta asfáltica.

### COSTO HORARIO DE POSESION DE PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE

#### I. DATOS GENERALES

PRODUCTO	PLANTA DE ASFALTO			
MODELO				
CAPACIDAD	50-160	tn/hora		
PESO	46800	kg		
VALOR DE ADQUISICION (sin/IGV)	Va = S/.	3493236		
VIDA ECONOMICA UTIL (VEU)	VEU = n	10	años	2000
VALOR DE RESCATE	Vr = 25% de Va			horas anuales

#### II. SOLUCION

##### 1. VALOR DE RESCATE (Vr)

$$Vr = \%Va \quad Vr \quad S/. \quad 873308.96 \quad /año$$

##### 2. CALCULO DE LA INVERSION MEDIA ANUAL (IMA):

$$IMA = \frac{Va(n+1) + Vr(n-1)}{2n} \quad IMA \quad S/. \quad 2314268.7 \quad /año$$

##### 3. COSTO HORARIO DE LA DEPRECIACION (D)

$$D = \frac{Va - Vr}{VEU} \quad D \quad S/. \quad 261992.69 \quad /año$$

$$D \quad S/. \quad 131.00 \quad /hora$$

##### 4. COSTO HORARIO DE LOS INTERESES (I)

TAMN 13.53% año 2022

$$I = \frac{IMA \times \% \text{ tasa anual}}{VEU} \quad I \quad S/. \quad 156.56 \quad /hora$$

##### 5. COSTO HORARIO DE SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE (SIA)

Seguros	:	5.00%	Va (no mayor a S/. 100000) = 3.5%
Impuestos	:	0.40%	Va <= S/. 1000000=0.4% / Va > S/. 1000000=0.4%
Almacenaje	:	1.50%	1.50%
<b>Total</b>	:	<b>6.90%</b>	

$$SIA = \frac{IMA \times \%(\sum \text{tasas anuales})}{VEU} \quad SIA \quad S/. \quad 79.84 \quad /hora$$

##### 6. COSTO TOTAL HORARIO DE POSESION

DEPRECIACION	:	S/.	131.00 /hora
INTERESES	:	S/.	156.56 /hora
SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE	:	S/.	79.84 /hora
<b>TOTAL COSTO HORARIO DE POSESION</b>	:	<b>S/.</b>	<b>367.40 /hora</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 116** Costo horario de operación de planta asfáltica.

<b>COSTO HORARIO DE OPERACIÓN DE PLANTA DE ASFALTO</b>			
<b>I. DATOS</b>			
DATOS GENERALES		PLANTA DE ASFALTO DE 50-160 TN/HR	
<b>COMBUSTIBLE</b>			
Consumo de petróleo (promedio)	:	2	gal/hora
<b>LUBRICANTES</b>			
Consumo de aceite	:	0.03	gal/hora
Grasa	:	0.22	libras/hora
<b>FILTROS</b>	:	20.00%	(Combustible + lubricante)
<b>OPERADOR DE EQUIPO PESADO</b>	:	1.5 HH	de operario de construcción civil
<b>II SOLUCION</b>			
<b>1. COMBUSTIBLE</b>			
Petróleo	S/.	33.72	/hora
<b>2. LUBRICANTE Y GRASAS</b>			
Aceite de motor grado 40	S/.	1.18	/hora
Grasas	S/.	1.49	/hora
Costo de lubricantes	S/.	1.18	/hora
Costo de grasas	S/.	1.49	/hora
<b>3. FILTROS</b>			
20%(C+L+G)	S/.	7.28	/hora
<b>4. COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO</b>			
90% Va	S/.	3143912.24	
75% repuestos	S/.	2357934.179	S/.
25% mano de obra	S/.	785978.0595	S/.
<b>5. COSTO OPERADOR ESPECIALIZADO</b>			
Costo operador	S/.	28.35	/hora
<b>6. TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN</b>			
TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN	S/.	229.21	/hora
COSTO TOTAL DE EQUIPO = Costo de posesión + Costo de operación			
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE PLANTA DE ASFALTO (Con operador) =</b>	S/.	596.61	/hora
			SIN IGV
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE PLANTA DE ASFALTO (Con operador) =</b>	S/.	704.00	/hora
			IGV

Fuente: Elaboración propia.

**Volquete de 15 m3****Tabla 117 Costo horario de posesión de volquete de 15m3.****COSTO HORARIO DE POSESION DE VOLQUETE 15 M3****I. DATOS GENERALES**

PRODUCTO	VOLQUETE 15 M3		
MODELO	VOLVO FMX 440		
POTENCIA	440 HP		
CAPACIDAD DE TOLVA	15 M3	(41000 KG)	
VALOR DE ADQUISICION (sin/IGV)	Va = S/.	352941.2	
VIDA ECONOMICA UTIL (VEU)	VEU = n	6 años	
VALOR DE RESCATE	Vr = 20% de Va		

**II. SOLUCION****1. VALOR DE RESCATE (Vr)**

$$Vr = \%Va \quad Vr \quad S/. \quad 70588.236 \quad /año$$

**2. CALCULO DE LA INVERSION MEDIA ANUAL (IMA):**

$$IMA = \frac{Va(n+1) + Vr(n-1)}{2n} \quad IMA \quad S/. \quad 235294.12 \quad /año$$

**3. COSTO HORARIO DE LA DEPRECIACION (D)**

$$D = \frac{Va - Vr}{VEU} \quad D \quad S/. \quad 47058.824 \quad /año$$

$$D \quad S/. \quad \mathbf{23.53 \quad /hora}$$

**4. COSTO HORARIO DE LOS INTERESES (I)**

TAMN 13.53% año 2022

$$I = \frac{IMA \times \% \text{ tasa anual}}{VEU} \quad I \quad S/. \quad \mathbf{15.92 \quad /hora}$$

**5. COSTO HORARIO DE SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE (SIA)**

Seguros	:	3.50%	Va (no mayor a S/. 100000) = 3.5%
Impuestos	:	0.00%	Va <= S/. 1000000 = 0.0% / Va > S/. 1000000 = 0.4%
Almacenaje	:	1.50%	1.50%
<b>Total</b>	:	<b>5.00%</b>	

$$SIA = \frac{IMA \times \%(\sum \text{tasas anuales})}{VEU} \quad SIA \quad S/. \quad \mathbf{5.88 \quad /hora}$$

**6. COSTO TOTAL HORARIO DE POSESION**

DEPRECIACION	:	S/.	23.53 /hora
INTERESES	:	S/.	15.92 /hora
SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE	:	S/.	5.88 /hora
<b>TOTAL COSTO HORARIO DE POSESION</b>	:	<b>S/.</b>	<b>45.33 /hora</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 118** Costo horario de operación de volquete de 15m<sup>3</sup>.**COSTO HORARIO DE OPERACIÓN DE VOLQUETE 15 M3****I. DATOS**

DATOS GENERALES Volquete fmx 440 hp

**COMBUSTIBLE**

Consumo de petróleo (promedio) : 3.5 gal/hora

**LUBRICANTES**

Consumo de aceite motor grado 40 : 0.035 gal/hora

Consumo de aceite caja cambio grado 140 : 0.00435 gal/hora

Consumo de aceite toma fuerza, reductor grado 140 : 0.0026 gal/hora

Consumo de aceite de dirección : 0.001 gal/hora

Grasa : 0.22 libras/hora

Refrigerante : 0.002 gal/hora

**FILTROS**

: 20.00% (Combustible + lubricante)

**NEUMÁTICOS**

Neumáticos : 10.0 unid

Vida útil de cada unidad : 800 horas

**OPERADOR DE EQUIPO PESADO**

: 1.5 HH de operario de construcción civil

**II SOLUCION****1. COMBUSTIBLE**

Petróleo S/. 59.01 /hora

**2. LUBRICANTE Y GRASAS**

Aceite de motor grado 40 S/. 1.38 /hora

Aceite caja de cambio grado 140 S/. 0.17 /hora

Aceite toma de fuerza, reductor grado 140 S/. 0.10 /hora

Aceite de dirección S/. 0.03 /hora

Grasas S/. 1.49 /hora

Costo de lubricantes S/. 1.68 /hora

Costo de grasas S/. 1.49 /hora

**3. FILTROS**

20%(C+L+G) S/. 12.44 /hora

**4. REFRIGERANTES**

Costo de refrigerante S/. 0.06 /hora

**5. NEUMÁTICOS**

Costo neumático S/. 14.38 /hora

**6. COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO**

90% Va S/. 317647.06

75% repuestos S/. 238235.2965 S/. 19.85 /hora

25% mano de obra S/. 79411.7655 S/. 6.62 /hora

**6. COSTO OPERADOR ESPECIALIZADO**

Costo operador S/. 28.35 /hora

**7. TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN**

TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN S/. 143.81 /hora

COSTO TOTAL DE EQUIPO = Costo de posesión + Costo de operación

**COSTO TOTAL HORARIO DE VOLQUETE 15 M3**

(Con operador) = S/. 189.14 /hora

SIN IGV

**COSTO TOTAL HORARIO DE VOLQUETE 15 M3**

(Con operador) = S/. 223.18 /hora

IGV

Fuente: Elaboración propia.

**Rodillo neumático****Tabla 119** Costo horario de posesión de rodillo neumático.**COSTO HORARIO DE POSESION DE RODILLO NEUMATICO****I. DATOS GENERALES**

PRODUCTO	RODILLO NEUMATICO
POTENCIA	81-100 HP
CAPACIDAD	5.5-20 TN
VALOR DE ADQUISICION (sin/IGV)	Va = S/. 533980 (SIN IGV)
VIDA ECONOMICA UTIL	VEU = n 6 años
VALOR DE RESCATE	Vr = 25% de Va



2000 horas

**II. SOLUCION****1. VALOR DE RESCATE (Vr)**

$$Vr = \%Va \quad Vr \quad S/. \quad 117475.6 \quad /año$$

**2. CALCULO DE LA INVERSION MEDIA ANUAL (IMA):**

$$IMA = \frac{Va(n+1) + Vr(n-1)}{2n} \quad IMA \quad S/. \quad 360436.5 \quad /año$$

**3. COSTO HORARIO DE LA DEPRECIACION (D)**

$$D = \frac{Va - Vr}{VEU} \quad D \quad S/. \quad 69417.4 \quad /año$$

$$D \quad S/. \quad 34.71 \quad /hora$$

**4. COSTO HORARIO DE LOS INTERESES (I)**

$$I = \frac{IMA \times \% \text{ tasa anual}}{VEU} \quad I \quad S/. \quad 24.38 \quad /hora$$

TAMN 13.53% año 2022

**5. COSTO HORARIO DE SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE (SIA)**

Seguros	:	3.50%	Va (no mayor a S/. 100000) = 3.5%
Impuestos	:	0.00%	Va <= S/. 1000000 = 0.0% / Va > S/. 1000000 = 0.4%
Almacenaje	:	1.00%	1.00%
<b>Total</b>	:	<b>4.50%</b>	

$$SIA = \frac{IMA \times \%(\sum \text{tasas anuales})}{VEU} \quad SIA \quad S/. \quad 8.11 \quad /hora$$

**6. COSTO TOTAL HORARIO DE POSESION**

DEPRECIACION	:	S/. 34.71 /hora
INTERESES	:	S/. 24.38 /hora
SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE	:	S/. 8.11 /hora
<b>TOTAL COSTO HORARIO DE POSESION</b>	:	<b>S/. 67.20 /hora</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 120** Costo horario de operación de rodillo neumático.

<b>COSTO HORARIO DE OPERACIÓN DE RODILLO NEUMATICO</b>				
<b>I. DATOS</b>				
<b>DATOS GENERALES</b>		<b>RODILLO NEUMATICO</b>		
<b>COMBUSTIBLE</b>				
Consumo de petróleo (promedio)	:	4.1	gal/hora	
<b>LUBRICANTES</b>				
Consumo de aceite motor grado 140	:	0.08	gal/hora	
Consumo de aceite hidráulico	:	0.004	gal/hora	
Consumo de aceite de transmisión	:	0.004	gal/hora	
Consumo de aceite de sistema de vibración	:	0.008	gal/hora	
Grasa	:	2.26	libras/hora	
Refrigerantes	:	0.002	gal/hora	
<b>FILTROS</b>	:	20.00%	(Combustible + lubricante)	
<b>OPERADOR DE EQUIPO PESADO</b>	:	1.5 HH	de operario de construcción civil	
<b>II SOLUCION</b>				
<b>1. COMBUSTIBLE</b>				
Petróleo	S/.	69.13	/hora	
<b>2. LUBRICANTE Y GRASAS</b>				
Aceite de motor	S/.	3.15	/hora	
Aceite hidráulico	S/.	0.13	/hora	
Aceite de transmisión	S/.	0.16	/hora	
Aceite de sistema de transmisión	S/.	0.31	/hora	
Grasas	S/.	15.26	/hora	
Costo de lubricantes	S/.	3.75	/hora	
Costo de grasas	S/.	15.26	/hora	
<b>3. FILTROS</b>				
20%(C+L+G)	S/.	17.63	/hora	
<b>4. REFRIGERANTES</b>				
Costo de refrigerante	S/.	0.06	/hora	
<b>5. COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO</b>				
90% Va	S/.	480582		
75% repuestos	S/.	360436.5	S/.	30.04 /hora
25% mano de obra	S/.	120145.5	S/.	10.01 /hora
Si la mano de obra está considerada en los gastos generales, solo se toma como costo de reparacion y matenemineto el 75% correspondiente a respuestos.				
<b>6. COSTO OPERADOR ESPECIALIZADO</b>				
Costo operador	S/.	28.35	/hora	
<b>7. TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN</b>				
TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN	S/.	174.22	/hora	
COSTO TOTAL DE EQUIPO = Costo de posesión + Costo de operación				
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE RODILLO NEUMATICO (Con operador) =</b>	S/.	241.42	/hora	<b>SIN IGV</b>
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE RODILLO NEUMATICO (Con operador) =</b>	S/.	284.87	/hora	<b>IGV</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Rodillo tandem****Tabla 121** Costo horario de posesión de rodillo tandem.**COSTO HORARIO DE POSESION DE RODILLO TANDEM****I. DATOS GENERALES**

PRODUCTO	RODILLO TANDEM	
POTENCIA	58-70	HP
CAPACIDAD	5--8	TN
PESO DE OPERACIÓN	5500	KG
VALOR DE ADQUISICION (sin/IGV)	Va = S/.	650057.7 (SIN IGV)
VIDA ECONOMICA UTIL	VEU = n	6 años
VALOR DE RESCATE	Vr = 25% de Va	



2000 horas

**II. SOLUCION****1. VALOR DE RESCATE (Vr)**

$$Vr = \%Va \quad Vr \quad S/. \quad 162514.41 \quad /año$$

**2. CALCULO DE LA INVERSION MEDIA ANUAL (IMA):**

$$IMA = \frac{Va(n+1) + Vr(n-1)}{2n} \quad IMA \quad S/. \quad 446914.63 \quad /año$$

**3. COSTO HORARIO DE LA DEPRECIACION (D)**

$$D = \frac{Va - Vr}{VEU} \quad D \quad S/. \quad 81257.206 \quad /año$$

$$D \quad S/. \quad 40.63 \quad /hora$$

**4. COSTO HORARIO DE LOS INTERESES (I)**

TAMN 13.53% año 2022

$$I = \frac{IMA \times \% \text{ tasa anual}}{VEU} \quad I \quad S/. \quad 30.23 \quad /hora$$

**5. COSTO HORARIO DE SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE (SIA)**

Seguros	:	3.50%	Va (no mayor a S/. 100000) = 3.5%
Impuestos	:	0.00%	Va <= S/. 1000000=0.0% / Va > S/. 1000000=0.4%
Almacenaje	:	1.00%	1.00%
<b>Total</b>	:	<b>4.50%</b>	

$$SIA = \frac{IMA \times \%(\sum \text{tasas anuales})}{VEU} \quad SIA \quad S/. \quad 10.06 \quad /hora$$

**6. COSTO TOTAL HORARIO DE POSESION**

DEPRECIACION	:	S/.	40.63 /hora
INTERESES	:	S/.	30.23 /hora
SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE	:	S/.	10.06 /hora
<b>TOTAL COSTO HORARIO DE POSESION</b>	:	<b>S/.</b>	<b>80.92 /hora</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 122 Costo horario de operación de rodillo tandem.**

<b>COSTO HORARIO DE OPERACIÓN DE RODILLO TANDEM</b>				
<b>I. DATOS</b>				
DATOS GENERALES	RODILLO			
<b>COMBUSTIBLE</b>				
Consumo de petróleo (promedio)	:	4.5	gal/hora	
<b>LUBRICANTES</b>				
Consumo de aceite motor grado 140	:	0.05	gal/hora	
Consumo de aceite hidráulico	:	0.004	gal/hora	
Consumo de aceite de transmisión	:	0.004	gal/hora	
Consumo de aceite de sistema de vibración	:	0.008	gal/hora	
Grasa	:	2.04	libras/hora	
Refrigerantes	:	0.002	gal/hora	
<b>FILTROS</b>	:	20.00%	(Combustible + lubricante)	
<b>OPERADOR DE EQUIPO PESADO</b>	:	1.5 HH	de operario de construcción civil	
<b>II SOLUCION</b>				
<b>1. COMBUSTIBLE</b>				
Petróleo	S/.	<b>75.87</b>	/hora	
<b>2. LUBRICANTE Y GRASAS</b>				
Aceite de motor grado 40	S/.	1.97	/hora	
Aceite hidráulico	S/.	0.13	/hora	
Aceite de transmisión	S/.	0.16	/hora	
Aceite de sistema de transmisión	S/.	0.31	/hora	
Grasas	S/.	13.77	/hora	
Costo de lubricantes	S/.	<b>2.57</b>	/hora	
Costo de grasas	S/.	<b>13.77</b>	/hora	
<b>3. FILTROS</b>				
20%(C+L+G)	S/.	<b>18.44</b>	/hora	
<b>4. REFRIGERANTES</b>				
Costo de refrigerante	S/.	<b>0.06</b>	/hora	
<b>5. COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO</b>				
90% Va	S/.	585051.885		
75% repuestos	S/.	<b>438788.9138</b>	<b>36.57</b>	/hora
25% mano de obra	S/.	<b>146262.9713</b>	<b>12.19</b>	/hora
<b>6. COSTO OPERADOR ESPECIALIZADO</b>				
Costo operador	S/.	<b>28.35</b>	/hora	
<b>7. TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN</b>				
TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN	S/.	<b>187.82</b>	/hora	
COSTO TOTAL DE EQUIPO = Costo de posesión + Costo de operación				
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE RODILLO TANDEM (Con operador) =</b>	S/.	<b>268.73</b>	/hora	<b>SIN IGV</b>
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE RODILLO TANDEM (Con operador) =</b>	S/.	<b>317.11</b>	/hora	<b>SIN IGV</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Pavimentadora

**Tabla 123** Costo horario de posesión de pavimentadora.

COSTO HORARIO DE POSESION DE PAVIMENTADORA			
<b>I. DATOS GENERALES</b>			
PRODUCTO	PAVIMENTADORA		
MODELO			
POTENCIA	105 HP		
CAPACIDAD DE TOLVA	12000	KG	
VALOR DE ADQUISICION (sin/IGV)	Va = S/.	616452.4	
VIDA ECONOMICA UTIL (VEU)	VEU = n	10 años	2000 horas anuales
VALOR DE RESCATE	Vr = 20% de Va		
<b>II. SOLUCION</b>			
<b>1. VALOR DE RESCATE (Vr)</b>			
Vr=%Va	Vr	S/.	154113.09 /año
<b>2. CALCULO DE LA INVERSION MEDIA ANUAL (IMA):</b>			
$IMA = \frac{Va(n + 1) + Vr(n - 1)}{2n}$	IMA	S/.	408399.7 /año
<b>3. COSTO HORARIO DE LA DEPRECIACION (D)</b>			
$D = \frac{Va - Vr}{VEU}$	D	S/.	46233.928 /año
	D	S/.	<b>23.12 /hora</b>
<b>4. COSTO HORARIO DE LOS INTERESES (I)</b>			
	TAMN	13.53%	año 2022
$I = \frac{IMA \times \% \text{ tasa anual}}{VEU}$	I	S/.	<b>27.63 /hora</b>
<b>5. COSTO HORARIO DE SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE (SIA)</b>			
Seguros	:	3.50%	Va (no mayor a S/. 100000) = 3.5%
Impuestos	:	0.00%	Va <= S/. 1000000=0.0% / Va > S/. 1000000=0.4%
Almacenaje	:	1.50%	1.50%
Total	:	5.00%	
$SIA = \frac{IMA \times \% (\sum \text{tasas anuales})}{VEU}$	SIA	S/.	<b>10.21 /hora</b>
<b>6. COSTO TOTAL HORARIO DE POSESION</b>			
DEPRECIACION	:	S/.	23.12 /hora
INTERESES	:	S/.	27.63 /hora
SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE	:	S/.	10.21 /hora
<b>TOTAL COSTO HORARIO DE POSESION</b>	:	<b>S/.</b>	<b>60.96 /hora</b>



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 124** Costo horario de operación de pavimentadora.

<b>COSTO HORARIO DE OPERACIÓN DE PAVIMENTADORA</b>			
<b>I. DATOS</b>			
DATOS GENERALES	PAVIMENTADORA		
<b>COMBUSTIBLE</b>			
Consumo de petróleo (promedio)	:	6	gal/hora
<b>LUBRICANTES</b>			
Consumo de aceite	:	0.09	gal/hora
Grasa	:	0.05	libras/hora
<b>FILTROS</b>	:	20.00%	(Combustible + lubricante)
<b>OPERADOR DE EQUIPO PESADO</b>	:	1.5 HH	de operario de construcción civil
<b>II SOLUCION</b>			
<b>1. COMBUSTIBLE</b>			
Petróleo	S/.	101.16	/hora
<b>2. LUBRICANTE Y GRASAS</b>			
Aceite	S/.	3.54	/hora
Grasas	S/.	0.34	/hora
Costo de lubricantes	S/.	3.54	/hora
Costo de grasas	S/.	0.34	/hora
<b>3. FILTROS</b>			
20%(C+L+G)	S/.	21.01	/hora
<b>4. COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO</b>			
90% Va	S/.	554807.14	
75% repuestos	S/.	416105.3552	S/.
25% mano de obra	S/.	138701.7851	S/.
<b>5. COSTO OPERADOR ESPECIALIZADO</b>			
Costo operador	S/.	28.35	/hora
<b>6. TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN</b>			
TOTAL COSTO HORARIO DE OPERACIÓN	S/.	182.14	/hora
COSTO TOTAL DE EQUIPO = Costo de posesión + Costo de operación			
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE PAVIMENTADORA (Con operador) =</b>			
	S/.	243.09	/hora
<b>COSTO TOTAL HORARIO DE PAVIMENTADORA (Con operador) =</b>			
	S/.	286.85	/hora

SIN IGV

IGV

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la siguiente tabla 125 el análisis de costo unitario de producción de carpeta asfáltica en caliente convencional.

**Tabla 125** *Análisis de costo unitario de carpeta asfáltica en caliente convencional.*

Partida: Carpeta asfáltica en caliente convencional de 2"					
Jornada	8	h/día			
Rendimiento	1600	m2/día			
Costo unitario por m2				<b>S/.</b>	<b>52.69</b>
DESCRIPCION	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de obra</b>					
CAPATAZ	hh	1.000	0.005	24.50	0.12
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hh	3.000	0.015	23.94	0.36
OFICIAL	hh	2.000	0.010	18.89	0.19
PEON	hh	10.000	0.050	17.08	0.85
					<u>1.52</u>
<b>Materiales</b>					
CEMENTO ASFÁLTICO PEN120/150	gal		1.907	18.14	34.59
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.0173	60	1.04
ARENA CHANCADA 3/8"	m3		0.0168	45	0.76
ARENA ZARANDEADA	m3		0.0139	40	0.56
					<u>36.94</u>
<b>Equipo</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.000	1.52	0.05
CARGADOR FRONTAL 160-195 HP	hm	1	0.005	385	1.92
GRUPO ELECTRÓGENO 380 HP	hm	1	0.005	188	0.94
PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE 50-160 TN/H	hm	1	0.005	704	3.52
VOLQUETE 15 M3	hm	3	0.015	223	3.35
RODILLO NEUMÁTICO 81-100 HP	hm	1	0.005	285	1.42
RODILLO TANDEM 58-70 HP	hm	1	0.005	317	1.59
PAVIMENTADORA 105 HP	hm	1	0.005	287	1.43
					<u>14.22</u>

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la siguiente tabla 126 el análisis de costo unitario de producción de carpeta asfáltica en caliente modificada con polímeros reciclables.

**Tabla 126** *Análisis de costo unitario de carpeta asfáltica en caliente modificada.*

Partida: Carpeta asfáltica en caliente modificada de 2"					
Jornada	8	h/día			
Rendimiento	1600	m2/día			
Costo unitario por m2				<b>S/.</b>	<b>54.83</b>
DESCRIPCION	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de obra</b>					
CAPATAZ	hh	1.000	0.005	24.50	0.12
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hh	3.000	0.015	23.94	0.36
OFICIAL	hh	2.000	0.010	18.89	0.19
PEON	hh	10.000	0.050	17.08	0.85
					<u>1.52</u>
<b>Materiales</b>					
CEMENTO ASFÁLTICO PEN120/150	gal		1.907	18.14	34.59
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.01728	60.0	1.04
ARENA CHANCADA 3/8"	m3		0.01657	45.0	0.75
ARENA ZARANDEADA	m3		0.01369	40.0	0.55
PET	kg		0.39000	4.5	1.76
GNM	kg		0.16000	2.5	0.40
					<u>39.08</u>
<b>Equipo</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.000	1.52	0.05
CARGADOR FRONTAL 160-195 HP	hm	1	0.005	385	1.92
GRUPO ELECTRÓGENO 380 HP	hm	1	0.005	188	0.94
PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE 50-160 TN/H	hm	1	0.005	704	3.52
VOLQUETE 15 M3	hm	3	0.015	223	3.35
RODILLO NEUMÁTICO 81-100 HP	hm	1	0.005	285	1.42
RODILLO TANDEM 58-70 HP	hm	1	0.005	317	1.59
PAVIMENTADORA 105 HP	hm	1	0.005	287	1.43
					<u>14.22</u>

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 125, vemos que el costo de producción de 1 m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica para un diseño de mezcla asfáltica convencional es S/. 52.69.

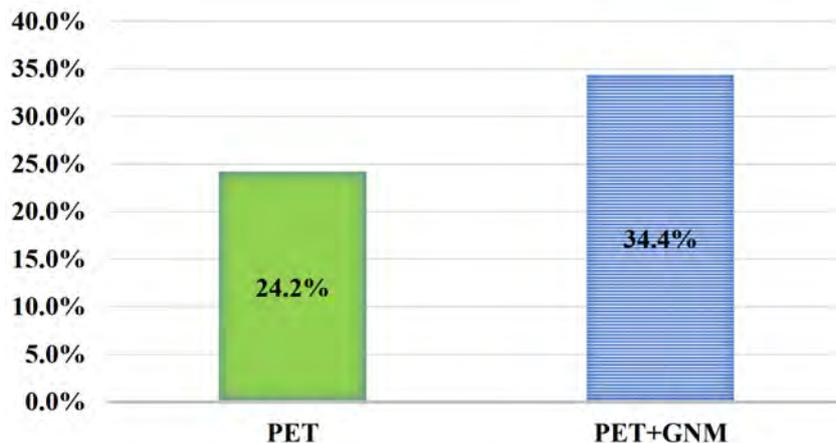
De la tabla 126, vemos que el costo de producción de 1 m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica para un diseño de mezcla asfáltica modificada con adición de polímeros reciclables es S/. 54.83.



**Figura 88** Comparación de costos unitarios por m<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis comparativo de los costos unitarios de producción de la mezcla asfáltica convencional versus la modificada hay una diferencia de S/.2.14. Este aumento de costo se compensa con mejor calidad y comportamiento del pavimento, consecuentemente se ve reflejado en la reducción de costos en el mantenimiento y conservación de la carpeta asfáltica.



**Figura 89** Comparación de ahuellamiento de diseño con (PET) VS (PET+GNM)

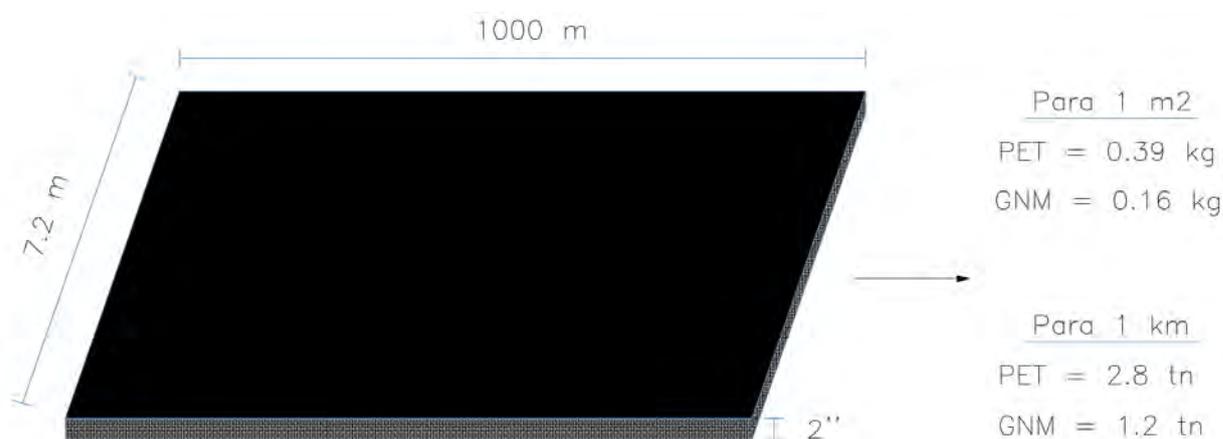
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 89, se realiza un comparativo de usar (PET) Y (PET+GNM) en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Estos diseños se sometieron al ensayo de desempeño de ahuellamiento. En la tesis hecho por Corbacho (2018), hace un diseño de mezcla asfáltica usando como aditivo el (PET) y al realizar una comparación del números de pasadas que soporta la rueda de Hamburgo respecto al diseño convencional logra superar en un 24.2%.

En la presente tesis se usa como aditivo el (PET + GNM) como un solo aditivo, de igual manera se somete al ensayo de desempeño de ahuellamiento y al hacer la comparación del número de pasadas que soporta la rueda de Hamburgo respecto al diseño convencional logra superar en un 34.4%. Es decir los GNM aportan en un 10.2% en el mejor comportamiento del ahuellamiento de la mezcla asfáltica.

#### 4.2.1.6 Evaluación de la mitigación ambiental

Para poder construir 1 m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica con un espesor de 2 pulgadas, se necesitan adicionar 0.39 kg de tereftalato de polietileno (PET) y 0.16 kg de neumático fuera de uso, es decir para la construcción de un kilómetro de carretera con un ancho de 7.20 m, se necesitarían un promedio de 2.8 tn de PET y 1.2 tn de GNM. Estos valores representan cantidades significativas y contribuyen en reducir la contaminación ambiental.



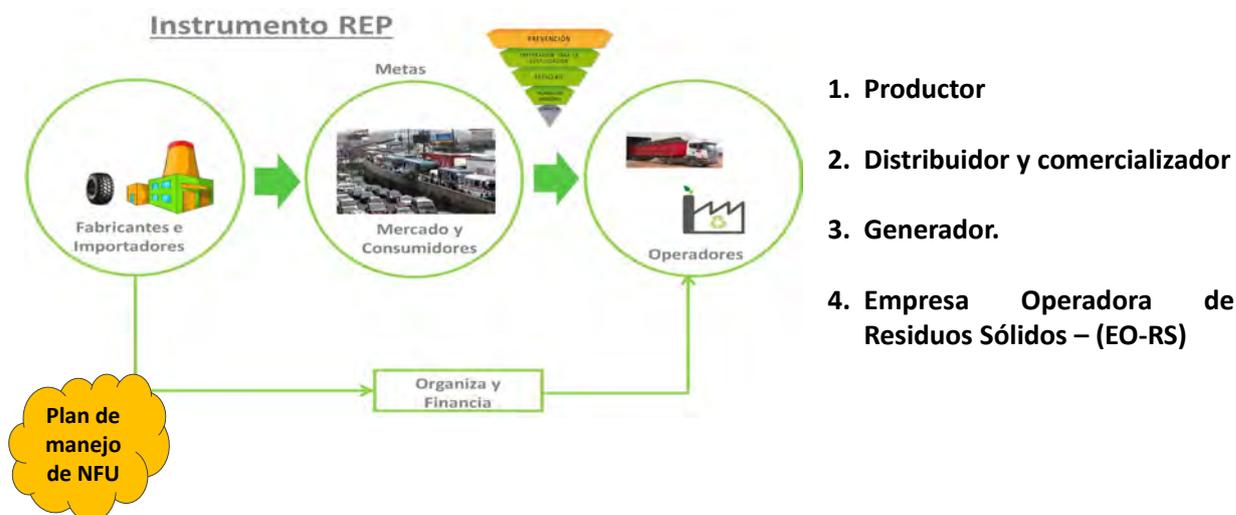
**Figura 90** Cantidades de polímeros reciclables en la construcción de 1 m<sup>2</sup> de pavimento flexible.

Fuente: Elaboración propia.

La inadecuada disposición de los neumáticos fuera de uso, la falta de inversión en la construcción de infraestructuras de valorización y disposición final, las actividades informales de valorización de los NFU y los altos costos de transporte hacia las infraestructuras de residuos sólidos, es decir debido a un inadecuado manejo y gestión de residuos de neumáticos fuera de uso y material PET, puede contraer efectos dañinos a la salud y al medio ambiente.

Como menciona decreto supremo N° 024-2021 Minam (2021) “la gestión y manejo de los neumáticos fuera de uso, a través de la extensión de su vida útil y su valorización, con el fin de prevenir la generación de residuos sólidos, propendiendo a un adecuado tránsito hacia la economía circular”.

## Actores del Régimen Especial de Gestión y Manejo de los Neumáticos Fuera de Uso - NFU



**Figura 91** Actores del régimen especial de gestión y manejo de los neumáticos fuera de uso-NFU.

Fuente: Obtenido de (Minam, 2021)

Esta propuesta lleva un conjunto de responsabilidades para los diferentes actores involucrados como son los productores, distribuidores, comercializadores, generadores y operadores de NFU, involucrados en las diferentes etapas de la gestión y manejo de dichos residuos, que incluye actividades destinadas a la segregación, almacenamiento, recolección selectiva, transporte, acondicionamiento, valorización y disposición final, teniendo en cuenta condiciones para la protección del ambiente y la salud humana. (Minam, 2021)

Según el Minam (2021) en el Perú se desechan 45650 millones de llantas anualmente, que es un problema ambiental si no se le da una recolección, transporte, acondicionamiento y valorización de los neumáticos fuera de uso.

En el Perú al año se producen 267,000 toneladas de plástico PET, del cual el 72% se convierten en residuo en menos de un año. Pero solo se aprovecha el 22% (42 000 toneladas) de dichos residuos para el reciclaje. “Si consideramos que en promedio, se usan al año aproximadamente 30 kilos de plástico por ciudadano, al año. Y consideramos que, anualmente se utilizan cerca de 3,000 millones de bolsas; es hora de hacer algo. Si bien las municipalidades se han convertido en las mayores promotoras del reciclaje en el Perú ya existe una cultura ciudadana de prácticas correctas de reciclaje, no hay muchas instituciones ni empresas que inviertan en plantas de reciclaje PET” (Empresarial, 2022)

Según manifiesta Empresarial (2022), el precio de PET reciclado tiene un valor estimado de 1 dolar en el presente año 2022.

La evaluación económica para la reutilización de los neumáticos fuera de uso en promedio el coste de adquisición es de 1.875 euros el neumático. (Denguir, 2021). Los costos finales de neumáticos fuera de uso puede variar dependiendo la aplicación que se le quiera dar, puede usarse en la construcción de carreteras, en edificaciones, vertederos, en terraplenes y muros de contención. En algunos casos se necesita procesar el neumático fuera de uso y en otros casos se usa como tal sin procesarlo y eso influye en la variación económica de los costos.

En la presente tesis realizando el análisis de costos de un diseño convencional versus un diseño con adición de materiales reciclables (granos de neumático molido y PET) vemos que hay una diferencia de costos de S/. 2.14 soles para la realizar una carpeta asfáltica de 1m<sup>2</sup>, y analizando el costo y beneficio de la mitigación ambiental es factible usar en la producción de mezclas asfálticas. En el Perú al medio ambiente le cuesta la recolección, transporte, acondicionamiento y valorización final de los neumáticos fuera de uso es de S/. 2.0 soles y las botellas plásticos PET cuestan S/. 4.0. Estos costos son de acuerdo a las cotizaciones y compra de estos materiales hechas en la presente tesis. Los precios pueden variar de acuerdo de que manera se le quiera reutilizar los neumáticos fuera de uso (reciclaje, reencauche, reparación, trituración y picado ) y eso influye directamente en su evaluación económica final.

En la ciudad de Huanta se tienen reportes que se desechan anualmente en promedio de 30 toneladas de neumáticos fuera de uso y un aproximado de 25 toneladas de PET tal como manifiestan los responsables del área de servicios municipales y gestión de residuos sólidos de la mencionada entidad. Lo cual genera un impacto negativo al medio ambiente, pero al poder emplear en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente se logra mitigar estos impactos.



(a) Recojo de neumáticos fuera de uso.



(b) Transporte de neumáticos fuera de uso.

**Figura 92** Neumáticos fuera de uso en la provincia de Huanta.

Fuente: Obtenido de la municipalidad provincial de Huanta.

**CARTA N° 013 – 2022 – MPH-GSPL/GRS/JOF**

**A** : **Blg. MARIA V. ATENCIO NINA**  
Jefa de la División de Servicios Municipales y Gestión de Residuos Sólidos.

**DEL** : **Jhonatan Onocc Flores**  
Promotor Ambiental

**ASUNTO** : informe del total de neumáticos recolectados de abril del 2021 a mayo del 2022

**FECHA** : **30 de Setiembre del 2022**

Por medio del presente, es grato dirigirme a Ud. Con la finalidad de saludarla e informarle del total de neumáticos recolectados durante las campañas de recolección realizado durante los meses comprendidos entre abril del 2021 a mayo del 2022, acumulando un total de 30 toneladas de neumáticos recolectados dentro de la ciudad de Huanta.

Almacenamiento de neumáticos en el centro de transferencia



Es todo en cuanto informo a usted, para su conocimiento y demás fines de caso.

Atentamente,

**JHONATAN ONOCC FLORES**  
DNI 70375535



**Figura 93** Cantidades de neumáticos fuera de uso recolectados durante el periodo 2021-2022.  
Fuente: Elaboración propia.

# Conclusiones

## Conclusiones

De acuerdo con los objetivos establecidos en el primer capítulo y las variables de diseño analizadas, el desarrollo de la tesis y el posterior análisis de resultados se concluye:

1. Se concluye que el reemplazo parcial del agregado fino por polímeros reciclables (PET=tereftalato de polietileno y GNM= granos de caucho molido) influye en la disminución del valor de la estabilidad Marshall en un 15.10% respecto al convencional. De la misma manera el flujo Marshall aumenta en un 11.17% respecto a diseño de mezcla asfáltica convencional. Los valores de la estabilidad y fluencia Marshall están dentro de los límites permisibles.
2. Se concluye que el desgaste realizado mediante el ensayo de cántabro presenta un desgaste de 1.31% para el diseño convencional y un desgaste de 1.18% para el diseño modificado, es decir es favorable para el diseño modificado con polímeros reciclables en una disminución de desgaste del 9.92% respecto al diseño convencional. Es decir las briquetas realizadas con cemento asfáltico óptimo = 6.18%, polímeros reciclables óptimos =1.5% (PET =62.5% + GNM=37.5%) presentar menores valores de desgaste y presentan una mejor durabilidad respecto a un diseño de mezcla asfáltica tradicional.
3. Se concluye que el diseño de mezcla asfáltica convencional soporta 3008 pasadas de la rueda cargada de Hamburgo y el diseño modificado con polímeros reciclables (PET+GNM) soporta 4042 pasadas de rueda cargada, es decir se incrementa la resistencia a la deformación permanente no recuperable (ahuellamiento) en un 34.38% con respecto al diseño convencional.
4. Al realizar una análisis comparativo de los costos de producción de una mezcla asfáltica convencional versus la modificada hay un aumento de S/ 2.14 para la construcción de 1 m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica, este adicional del costo de producción se compensa con una mejor durabilidad, seguridad y confort del pavimento, consecuentemente hay menos trabajo de mantenimiento de pavimento flexible.
5. Se concluye que al utilizar materiales reciclables (PET y GNM) se logra disminuir

el impacto ambiental, ya que para la construcción de un 1 km de carretera se usa en promedio 2.8 tn de tereftalato de polietileno (PET) y 1.2 tn de granos de neumático molido (GNM). Por lo tanto al emplear estas cantidades si se hace un trabajo de mitigar la contaminación ambiental, ya que en la ciudad de Huanta se desechan un aproximado de 30 tn de neumáticos fuera de uso y 25 tn de PET anualmente.

## **Recomendaciones**

1. Se recomienda realizar investigaciones en el área de pavimentos, usando otros materiales reciclables como son polipropilenos, poliestireno, etc que ayuden a mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas. De esta manera buscar un mejor desempeño del pavimento.
2. Se recomienda realizar investigaciones en diseño de mezclas asfálticas mediante la unión de materiales reciclables y el cemento asfáltico en un solo producto, es decir mediante la vía húmeda y de esa manera ver las mejoras que se puede tener respecto a la adición de polímeros reciclables mediante la vía seca.
3. Se recomienda a las autoridades de la UNSCH hacer un equipamiento más moderno en el área de pavimentos de la escuela de ing. civil, para realizar pruebas de desempeño como la Rueda cargada de Hamburgo, ensayo de fatiga, módulo dinámico, módulo resiliente, etc. De esa manera se innova, se incentiva a la investigación en esta área y se crea conocimiento a la vanguardia en el área de pavimentos.

## **Trabajos futuros**

1. Realizar una investigación con otros materiales reciclables como polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC),etc, en el diseño de mezclas asfálticas en caliente.
2. Realizar diseños de mezclas asfálticas con la metodología superpave y evaluar los ensayos de desempeño para caracterizar y ver mejor el comportamiento de las mezclas asfálticas.
3. Realizar investigación con la fusión del cemento asfáltico y otros polímeros reciclables para desarrollar diseños de mezclas asfálticas eco-sostenibles.

## Referencias bibliográficas

- Alvarez, B. L. A. & Carrera, S. E. T. (2017). *Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica* (Tesis de Pregado). Univerdidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú.
- Arnáiz, A. N. (2014). *Reciclaje de polímeros mediante la producción de materiales de alto valor añadido* (Tesis de Doctoral). Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante.
- Ayala, d. t. Y., Delgado, A. H., Guzmán, O. D. V. & Salazar, R. A. Z. (2018). Manual de ensayos para laboratorio. Mezclas asfálticas en caliente (MAC) parte 1. Para el cálculo de volumetría y ensayos de desempeño. *Publicación Técnica*, (516).
- Basto, P. S. A., Hernández, S. N. F. & Oliveros, O. I. M. (2019). Viabilidad técnica de la elaboración de un diseño de mezcla asfáltica modificada con adición de fibra de PET en proporción de mezcla entre el 2, 5% y el 5%. *Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500,12494,14177>.
- Board, M. R. (2019). *Natural rubber statistics*. Malasia. Retrieved from [http://www.lgm.gov.my/nrstat/Statistics%20Website%202019%20\(Jan-Sep\).pdf](http://www.lgm.gov.my/nrstat/Statistics%20Website%202019%20(Jan-Sep).pdf)
- cabrera, S. L. V. (2021). Influencia del uso de PET reciclado como reemplazo de agregados en la respuesta mecánica y durabilidad de mezclas asfálticas. *Universidad de los Andes*.
- Capeco. (2022). Tabla de salarios y beneficios sociales para el régimen de construcción civil. Retrieved from <https://capacitate.oipc.com.pe/admin/assets/img/certify/105TABLAS%5C%20SALARIALES%5C%20COMPLETAS%5C%20-%5C%20BENEFICIOS%5C%20CONSTRUCCION%5C%20CIVIL%5C%202022.pdf>
- Carpio, Ñ. X. I. & Medina, S. R. F. (2013). *Diseño de una línea de procesado para la obtención de polvo de caucho a base de neumáticos fuera de uso (NFU)*.
- Corbacho, C. J. E. (2018). *Análisis de la estabilidad marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de ruedad de hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco-2018* (Tesis de Pregado). Univerdidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú.

- D'Amico, A. (2014). Ensayo de rueda de hamburgo AASHTO T324, Protocolo AMAAC RA-01. *Controls Group*, 20–25.
- Denguir, Y. (2021). *Estudio del uso de neumáticos fuera de uso (NFU) como material para la construcción de terraplenes. Aplicación a la ampliación del vertedero de residuos controlado de les Borges Blanques (Lleida)*.
- Eltwati, A. S., Hossein, A. & Nasr, D. (2020). Effect of Crumb Rubber Particles on the Properties of Asphalt. *Springer*, 43–52.
- Empresarial, Z. (2022). En el Perú hace falta cultura técnica respecto a temas de reciclaje. Retrieved from <https://zoomempresarial.pe/2022/03/30/en-el-peru-hace-falta-cultura-tecnica-respecto-a-temas-de-reciclaje/>
- Guzmán, C. (2016). Ficha técnica de granulado de neumáticos usados-caucho granulado. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/446300526/Ficha-Tecnica-Del-Caucho-Granulado>
- Hernández, S. R. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Huamán, G. N. & Chang, A. M. C. (2015). La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. *Perfiles de ingeniería*, 2(11).
- Juarez, M., Santiago, M. E. & Vera, J. (2011). Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de PET reciclado. *e-Gnosis*, 9, 1–12.
- Kraemer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M. G., Sánchez, B. v. & Del Val, M. A. (2004). *Ingeniería de carreteras, Volumen II*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Lacamarca, M. (2014). Brasil estrena el asfalto ecológico. Retrieved from <https://www.twenergy.com/a/brasil-estrena-el-asfaltoecol%C3%B3gico>
- LanammeUCR. (2019). *Catálogo de ensayos para mezclas asfálticas*. San José: Universidad de costa Rica.
- León, M. R. A. (2011). *Evaluación de la calidad e implementación de mejoras en la construcción de pavimentos* (Tesis de Posgrado). Instituto tecnológico de Tijuana, Tijuana-Baja California.
- Licht, A. D. & Paque, S. A. L. (2017). *Diseño de un plan de negocio para la creación de una empresa recicladora y comercializadora de plástico pet molido y lavado en la ciudad de Neiva*.

- Maguiña, S. W. T. (2019). *Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas*.
- Martín, A. G. (2015). *Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica* (Tesis de Posgrado). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Martín, G. A. (2015). *Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica*.
- Martinez, G., caicedo, B., González, D., Celis, L., Fuentes, L. & Torres, V. (2018). Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos. *Revista ingeniería de construcción*, 33(1), 41–50.
- Minam. (2021). Régimen especial de gestión y manejo de los neumáticos fuera de uso NFU. Retrieved from [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2500985/1ppt\\_NFU.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2500985/1ppt_NFU.pdf)
- Minaya, G. S. & ordóñez, H. A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos* (2nd ed.). Lima: Instituto de la construcción y gerencia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones técnicas generales para construcción*. Perú: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Perú: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Muños, R. C. (2011). *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis* (2a ed.). Mexico: Pearson Education.
- Nanjegowda, V. H. & Biligiri, K. P. (2020). Recyclability of rubber in asphalt roadway systems: A review of applied research and advancement in technology. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 1–15.
- Olivera, C. F. A. (2016). *Diseño de una red de recolección de botellas PET en Lima* (Tesis de Pregado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- Padilla, R. A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*.
- Pelaéz, G., Velásquez, S. & Giraldo, D. (2015). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 27(2), 27–50.
- Petroperú. (2020). *Manual asfaltos petroperú*. Perú.

- Ramirez, P. L. A., Orjuela, R. Á. E. & Angulo, B. G. E. (2020). Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(1), 44–53.
- Rondón, Q. H. A. & Reyes, L. F. A. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño* (1st ed.). Madrid: Ecoe Ediciones.
- Rumsys, D., Bacinskas, D., Spudulis, E. & Mezkenas, A. (2017). Comparison of material properties of lightweight concrete with recycled polyethylene and expanded clay aggregates. *Procedia Engineering*, 172, 937–944.
- Sánchez, H. C. E., Peña, R. G. J., Rico, L. L. F. et al. (2018). Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) reciclado en la Ingeniería Civil. *Ingeniería Civil. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia*.
- Worldfy. (2020). Ficha técnica PET. Retrieved from <https://www.worldfy.pe/wp-content/uploads/PET-Data-Sheet-28.09.2020.pdf>

# Anexo A

## Reporte de análisis de C.A. PEN 120/150

		LOTE No. 120/150-001-09-2021
REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFÁLTICO 120/150		
<b>REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A</b> Carretera a Ventanilla km 25 S/N Ventanilla	<b>RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b> 10/09/2021 17:28:10	<b>FECHA DE CERTIFICACIÓN</b> 11/09/2021 06:37:28
<b>PRODUCTO</b> Cemento Asfáltico 120/150	<b>TANQUE</b> 332A	<b>DESTINO DE PRODUCTO</b> Operaciones de Despacho
<b>PROCEDENCIA</b> Almacenamiento	<b>VOLUMEN CERTIFICADO, m³</b> 787	<b>BUQUE TANQUE</b>
PROPIEDADES	MÉTODO	RESULTADO
	ASTM / OTROS	
<b>PENETRACIÓN</b>		
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	D 5 / AASHTO T 49	134
<b>DUCTILIDAD</b>		
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 105
<b>VOLATILIDAD</b>		
Gravedad Específica a 15.6 °C/15.6°C	D 70 / AASHTO T 228	1.0190
Punto de Inflamación, °C	D 92 / AASHTO T 48	301.0
Gravedad API, °API	D 70 / AASHTO T 228	7.4
<b>FLUIDEZ</b>		
Punto de Ablandamiento, °C	D 36	42.2
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D 445	1867
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D 2170 / AASHTO T 201	258
<b>ENSAYOS DE PELÍCULA FINA</b>		
Pérdida por Calentamiento, % m	D 1754 / AASHTO T 179	0.30
Penetración retenida, 100g, 5s, 1/10 mm, % del original	D 5 / AASHTO T 49	59.7
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 105
<b>SOLUBILIDAD</b>		
Solubilidad en tridoroetileno, % m	D 2042 / AASHTO T 44	99.98
<b>OTROS</b>		
Índice de Penetración	UNE-EN 12591	-0.8
Ensayo de la Mancha (Nafta-Xileno)	AASHTO T102	20% xileno, negativo
<b>OBSERVACIONES:</b>		
PRODUCTO CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES ASTM D946, AASHTO M 20-70 Y NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 321.051		
<b>DISTRIBUCIÓN</b> - Operaciones de Despacho - TyT - Laboratorio	<b>FECHA DE EMISIÓN</b> 11/09/2021	<b>LABORATORIO</b>  Pedro Ramos M. Gerente de Laboratorio

Figura A.1 Reporte de análisis de cemento asfáltico 120/150 (repsol)

Fuente: Elaboración propia.

# Anexo B

## Estudio de agregados

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRITOBAL ED HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
Tesis	"Evaluación de mezclas asfálticas en caliente con polímeros reciclables y convencionales usando la cantera Allccomachay en la provincia de Huanta 2020"				
Tesista	: Danny Rojas quinto				
Región	: Ayacucho				
Descripción	: Análisis de agregado				
Provincia	: Huanta				
Material	: Agregado grueso y fino				
Distrito	: Huanta				
Cantera	: Allccomachay				
Resultado de agregado grueso					
N°	Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultado	Valoración
1	Durabilidad	MTC E 209	18% máx.	9.90%	Cumple
2	Abrasión de los ángeles	MTC E 207	40% máx.	19.40%	Cumple
3	Adherencia	MTC E 517	+95	+97.3	Cumple
4	Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín.	53%	Cumple
5	Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	4.20%	Cumple
6	Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	95.3/88.2	Cumple
7	Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.11%	Cumple
8	Gravedad específica bulk	MTC E 206	---	2.565	
Resultado de agregado fino					
N°	Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultado	Valoración
1	Equivalente arena	MTC E 114	60% mín.	80%	Cumple
2	Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30% mín.	42.73%	Cumple
3	Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín.	49%	Cumple
4	Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4% máx.	2%	Cumple
5	Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.11%	Cumple
6	Gravedad específica bulk arena chancada	MTC E 205	---	2.563	
7	Gravedad específica bulk arena zarandeada	MTC E 205	---	2.558	
 ING. YANET CUCHILLA MENDOZA JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES		 Bach. DANNY ROJAS QUINTO			
INGEOTECON E.I.R.L.			TESISTA		

Figura B.2 Resultado de ensayos de agregados gruesos y finos de la cantera Allccomachay.  
 Fuente: Elaboración propia.

# Anexo C

## Reporte de ensayos realizados

### C.1 Gravedad específica bruta de mezcla asfáltica (Gmb)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL (Gmb)				
REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L				
TESIS :	"EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"			
Tesista :	Danny Rojas Quinto	Región :	Ayacucho	
Descripción :	Gmb de briquetas Compactadas	Provincia :	Huanta	
Material :	Asfalto en Caliente Convencional	Distrito :	Huanta	
C. Asfáltico :	PEN 120/150 (Repsol)	Fecha :	octubre del 2021	
Cantera :	Allecomachay			
DISEÑO CONVENCIONAL C.A =5.0 %				
IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DC1	DC2	DC3
(A) Masa del espécimen seco	g	1189.0	1188.0	1194.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1191.0	1189.0	1195.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	668.0	669.0	676.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.273	2.285	2.301
(Gmb) Promedio	adim.	2.286		
DISEÑO CONVENCIONAL C.A =5.5 %				
IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DC4	DC5	DC6
(A) Masa del espécimen seco	g	1196.0	1196.0	1195.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1197.0	1197.0	1195.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	679.0	679.0	675.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.309	2.309	2.298
(Gmb) Promedio	adim.	2.305		
DISEÑO CONVENCIONAL C.A =6.0 %				
IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DC7	DC8	DC9
(A) Masa del espécimen seco	g	1188.0	1190.0	1195.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1189.0	1191.0	1195.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	672.0	669.0	678.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.298	2.280	2.311
(Gmb) Promedio	adim.	2.296		
DISEÑO CONVENCIONAL C.A =6.5 %				
IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DC10	DC11	DC12
(A) Masa del espécimen seco	g	1189.0	1190.0	1190.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1189.0	1190.0	1190.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	674.0	678.0	677.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.309	2.324	2.320
(Gmb) Promedio	adim.	2.318		
DISEÑO CONVENCIONAL C.A =7.0%				
IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DC13	DC14	DC15
(A) Masa del espécimen seco	g	1196.0	1192.0	1194.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1196.0	1192.0	1194.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	680.0	677.0	678.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.318	2.315	2.314
(Gmb) Promedio	adim.	2.315		

  
 ING. YANET COCHILLA MENDOZA  
 JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
 CIP. 202006  
 JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
 INGEOTECON E.I.R.L.

  
 Bach. DANNY ROJAS QUINTO  
 TESISISTA

Figura C.3 Gmb para diseño convencional = 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% Y 7.0% .  
Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA DE LA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA (Gmb)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L**

TESIS : "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Gmb de briquetas Compactadas	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Modificada con Polímeros Reciclables = 0.5%	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Cantera</b>	: Allccomachay
		<b>Fecha</b>	: octubre del 2021

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 30% GNM = 70%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM1	DM2	DM3
(A) Masa del espécimen seco	g	1185.0	1191.0	1196.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1186.0	1192.0	1197.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	676.0	680.0	681.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.324	2.326	2.318
(Gmb) Promedio	adim.	2.323		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 40% GNM = 60%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM4	DM5	DM6
(A) Masa del espécimen seco	g	1192.0	1191.0	1188.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1193.0	1192.0	1190.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	676.0	676.0	677.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.3	2.3	2.3
(Gmb) Promedio	adim.	2.310		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 50% GNM = 50%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM7	DM8	DM9
(A) Masa del espécimen seco	g	1200.0	1192.0	1197.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1201.0	1193.0	1198.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	684.0	676.0	680.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.3	2.3	2.3
(Gmb) Promedio	adim.	2.313		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%,POLIMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 60% GNM = 40%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM10	DM11	DM12
(A) Masa del espécimen seco	g	1186	1196	1195
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1188	1198	1196
(C) Masa del espécimen sumergido	g	669	677	679
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.285	2.296	2.311
(Gmb) Promedio	adim.	2.297		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 70% GNM = 30%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM13	DM14	DM15
(A) Masa del espécimen seco	g	1194	1193	1193
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1195	1194	1194
(C) Masa del espécimen sumergido	g	681	678	678
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.323	2.312	2.312
(Gmb) Promedio	adim.	2.316		

INGEOTECON E.I.R.L.  
ING. YANET COCHILLA MENDOZA  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Bach. DANNY ROJAS QUINTO

Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

Figura C.4 Gmb para diseño modificado con polímeros reciclables =0.5%.

Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA DE LA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA (Gmb)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L**

TESIS : "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Gmb de briquetas Compactadas	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Modificada con Polímeros Reciclables = 1.0%	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Cantera</b>	: Allccomachay
		<b>Fecha</b>	: octubre del 2021

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 30% GNM = 70%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM16	DM17	DM18
(A) Masa del espécimen seco	g	1193.0	1192.0	1192.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1194.0	1193.0	1193.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	674.0	673.0	674.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.294	2.292	2.297
(Gmb) Promedio	adim.	2.294		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 40% GNM = 60%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM19	DM20	D21
(A) Masa del espécimen seco	g	1192.0	1190.0	1194.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1193.0	1191.0	1195.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	670.0	671.0	679.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.279	2.288	2.314
(Gmb) Promedio	adim.	2.294		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 50% GNM = 50%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM22	DM23	D24
(A) Masa del espécimen seco	g	1194.0	1194.0	1190.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1195.0	1195.0	1191.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	677.0	678.0	675.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.305	2.309	2.306
(Gmb) Promedio	adim.	2.307		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 60% GNM = 40%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM25	DM26	DM27
(A) Masa del espécimen seco	g	1192.0	1193.0	1192.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1193.0	1194.0	1193.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	671.0	671.0	674.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.284	2.281	2.297
(Gmb) Promedio	adim.	2.287		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 70% GNM = 30%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM28	DM29	DM30
(A) Masa del espécimen seco	g	1194	1193	1195
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1195	1194	1196
(C) Masa del espécimen sumergido	g	675	675	667
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.296	2.299	2.259
(Gmb) Promedio	adim.	2.285		



JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

Figura C.5 Gmb para diseño modificado con polímeros reciclables =1.0%

Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA DE LA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA (Gmb)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L**

**TESIS :** "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

**Descripción :** Gmb de briquetas Compactadas **Provincia :** Huanta  
**Material :** Asfalto en Caliente Modificada con Polímeros **Distrito :** Huanta  
Reciclables = 1.5% **Cantera :** Allccomachay  
**C. Asfáltico :** PEN 120/150 (Repsol) **Fecha :** octubre del 2021

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 30% GNM = 70%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM31	DM32	DM33
(A) Masa del espécimen seco	g	1186.0	1197.0	1192.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1188.0	1198.0	1193.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	655.0	671.0	666.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.225	2.271	2.262
(Gmb) Promedio	adim.	2.253		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 40% GNM = 60%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM34	DM35	D36
(A) Masa del espécimen seco	g	1183.0	1196.0	1187.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1184.0	1197.0	1188.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	666.0	670.0	667.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.284	2.269	2.278
(Gmb) Promedio	adim.	2.277		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 50% GNM = 50%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM37	DM38	D39
(A) Masa del espécimen seco	g	1194.0	1189.0	1188.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1195.0	1190.0	1189.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	672.0	668.0	663.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.283	2.278	2.259
(Gmb) Promedio	adim.	2.273		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 60% GNM = 40%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM40	DM41	DM42
(A) Masa del espécimen seco	g	1199.0	1191.0	1186.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1200.0	1192.0	1187.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	677.0	672.0	668.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.293	2.290	2.285
(Gmb) Promedio	adim.	2.289		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 70% GNM = 30%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM43	DM44	DM45
(A) Masa del espécimen seco	g	1190.0	1196.0	1186.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1191.0	1198.0	1188.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	666.0	671.0	667.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.267	2.269	2.276
(Gmb) Promedio	adim.	2.271		

  
ING. YANET CASHILLA MENDOZA  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CIP. 202300

JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

Figura C.6 Gmb para diseño modificado con polímeros reciclables =1.5%.

Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA DE LA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA (Gmb)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L**

**TESIS :** "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Gmb de briquetas Compactadas	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Modificada con Polímeros Reciclables = 2.0%	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Cantera</b>	: Allccomachay
		<b>Fecha</b>	: octubre del 2021

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 30% GNM = 70%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM46	DM47	DM48
(A) Masa del espécimen seco	g	1199.0	1190.0	1181.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1200.0	1191.0	1183.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	662.0	656.0	648.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.229	2.224	2.207
(Gmb) Promedio	adim.	2.220		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 40% GNM = 60%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM49	DM50	D51
(A) Masa del espécimen seco	g	1204.0	1196.0	1192.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1205.0	1197.0	1194.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	662.0	664.0	659.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.217	2.244	2.228
(Gmb) Promedio	adim.	2.230		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 50% GNM = 50%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM52	DM53	D54
(A) Masa del espécimen seco	g	1193.0	1193.0	1190.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1194.0	1194.0	1191.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	661.0	665.0	660.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.238	2.255	2.241
(Gmb) Promedio	adim.	2.245		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 60% GNM = 40%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM55	DM56	DM57
(A) Masa del espécimen seco	g	1190.0	1198.0	1185.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1191.0	1199.0	1186.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	664.0	663.0	659.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.258	2.235	2.249
(Gmb) Promedio	adim.	2.247		

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO=6.18%, POLIMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 70% GNM = 30%)**

IDENTIFICACION	UND	BRIQUETA		
		DM58	DM59	DM60
(A) Masa del espécimen seco	g	1191.0	1193.0	1198.0
(B) Masa del espécimen saturado superficialmente seco	g	1192.0	1194.0	1199.0
(C) Masa del espécimen sumergido	g	665.0	666.0	664.0
(Gmb) Gravedad específica bruta de la mezcla compactada	adim.	2.260	2.259	2.239
(Gmb) Promedio	adim.	2.253		

**INGEOTECON E.I.R.L.**  
ING. YANET COCHILLA MENDOZA  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CIP 200700

JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

**Bach. DANNY ROJAS QUINTO**

Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

**Figura C.7** Gmb para diseño modificado con polímeros reciclables =2.0%.

Fuente: Elaboración propia.

## C.2 Gravedad específica teórica máxima (Gmm)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE LA MEZCLA SUELTA CONVENCIONAL (Gmm)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L**

**TESIS :** "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Gmm para mezclas asfálticas sueltas	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Convencional	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Fecha</b>	: octubre del 2021
<b>Cantera</b>	: Allccomachay		

**DISEÑO CONVENCIONAL C.A = 5.0 %**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M1
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1207
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1303
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2014
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.435</b>

**DISEÑO CONVENCIONAL C.A = 5.5 %**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M2
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1199
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1303
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2008
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.426</b>

**DISEÑO CONVENCIONAL C.A = 6.0 %**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M3
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1208
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1303
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2008
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.403</b>

**DISEÑO CONVENCIONAL C.A = 6.5 %**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M4
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1198
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1303
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2003
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.405</b>

**DISEÑO CONVENCIONAL C.A = 7.0 %**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M5
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1201
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1303
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2000
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.385</b>

 **INGEOTECON E.I.R.L.**  
  
**ING. YANET CUCHILLA MENDOZA**  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

Figura C.8 Gmm para diseño convencional = 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, y 7.0%,.

Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE LA MEZCLA SUELTA MODIFICADA (Gmm)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L**

TESIS : "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Gmm para mezclas asfálticas sueltas	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Modificada con Polímeros Reciclables = 0.5%	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Cantera</b>	: Allccomachay
		<b>Fecha</b>	: octubre del 2021

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 30% GNM = 70%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M7
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1183
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1992
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.400</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 40% GNM = 60%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M8
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1197
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2002
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.409</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 50% GNM = 50%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M9
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1196
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2000
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.402</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 60% GNM = 40%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M10
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1194
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1998
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.396</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 0.5% (PET = 70% GNM = 30%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M11
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1203
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2006
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.411</b>

 INGEOTECON E.I.R.L.  
  
ING. YANET COCHILLA MENDOZA  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CIP. 202386

JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGEOTECON E.I.R.L.

Figura C.9 Gmm para diseño modificado con polímeros reciclables = 0.5%.

Fuente: Elaboración propia.



Bach. DANNY ROJAS QUINTO

TESISTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE LA MEZCLA SUELTA MODIFICADA (Gmm)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.**

TESIS : "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Gmm para mezclas asfálticas sueltas	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Modificada con Polímeros Reciclables = 1.0%	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Cantera</b>	: Allccomachay
		<b>Fecha</b>	: octubre del 2021

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 30% GNM = 70%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M12
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1199
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2000
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.393</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 40% GNM = 60%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M13
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1197
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	2001
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.404</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 50% GNM = 50%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M14
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1195
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1998
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.395</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 60% GNM = 40%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M15
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1199
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1998
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.381</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**  
**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.0% (PET = 70% GNM = 30%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M16
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1196
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1999
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.397</b>

  
  
ING. YANET COCHILLA MENDOZA  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CIP. 260286

JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

Figura C.10 Gmm para diseño modificado con polímeros reciclables = 1.0%.

Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE LA MEZCLA SUELTA MODIFICADA (Gmm)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.**

**TESIS :** "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto	<b>Región</b> : Ayacucho
<b>Descripción</b> : Gmm para mezclas asfálticas sueltas	<b>Provincia</b> : Huanta
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente Modificada con Polímeros Reciclables = 1.5%	<b>Distrito</b> : Huanta
<b>C. Asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)	<b>Cantera</b> : Allccomachay
	<b>Fecha</b> : octubre del 2021

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**

**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 30% GNM = 70%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M17
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1191
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1995
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.392</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**

**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 40% GNM = 60%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M18
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1192
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1996
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.392</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**

**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 50% GNM = 50%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M19
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1183
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1992
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.400</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**

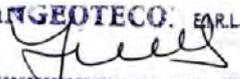
**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 60% GNM = 40%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M20
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1199
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1998
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.384</b>

**DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%**

**POLÍMEROS RECICLABLES = 1.5% (PET = 70% GNM = 30%)**

IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M21
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1198
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1998
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.387</b>

  
**INGEOTECON E.I.R.L.**  
  
**ING. YANET COCHILLA MENDOZA**  
 JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
 CIP. 202006

.....  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

  
 Bach. DANNY ROJAS QUINTO

.....  
Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

**Figura C.11** Gmm para diseño modificado con polímeros reciclables = 1.5%.

Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE LA MEZCLA SUELTA MODIFICADA (Gmm)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.**

**TESIS :** "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Gmm para mezclas asfálticas sueltas	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Modificada con Polímeros Reciclables = 2.0%	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Cantera</b>	: Allccomachay
		<b>Fecha</b>	: octubre del 2021

DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%		
POLÍMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 30% GNM = 70%)		
IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M22
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1201
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1996
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.369</b>

DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%		
POLÍMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 40% GNM = 60%)		
IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M23
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1197
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1995
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.375</b>

DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%		
POLÍMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 50% GNM = 50%)		
IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M24
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1201
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1998
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.378</b>

DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%		
POLÍMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 60% GNM = 40%)		
IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M25
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1200
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1997
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.376</b>

DISEÑO MODIFICADO CON C.A OPTIMO = 6.18%		
POLÍMEROS RECICLABLES = 2.0% (PET = 70% GNM = 30%)		
IDENTIFICACION	UND	MUESTRA M26
(A) Masa de la muestra seca al aire	g	1199
(B) Masa del picnómetro sumergido	g	1302
(C) Masa del picnómetro y muestra sumergido	g	1996
(Gmm) Gravedad específica teórica máxima	adim.	<b>2.374</b>

INGEOTECON E.I.R.L.  
ING. YANET CUCHILLA MENDOZA  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Bach. DANNY ROJAS QUINTO

Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

Figura C.12 Gmm para diseño modificado con polímeros reciclables = 2.0%.

Fuente: Elaboración propia.





 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>									
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>									
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"									
<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto					<b>Región</b>	: Ayacucho		
<b>Descripción</b>	: Diseño Marshall Convencional					<b>Provincia</b>	: Huanta		
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente					<b>Distrito</b>	: Huanta		
<b>Cemento asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)					<b>Fecha</b>	: setiembre del 2021		
<b>MARSHALL CON C.A=6.0%</b>									
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200	
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.2	44.5	20.0	9.5	5.8	
Especificaciones mac 2	<b>100 - 100</b>	<b>80 - 100</b>	<b>70 - 88</b>	<b>51 - 68</b>	<b>38 - 52</b>	<b>17 - 28</b>	<b>8 - 17</b>	<b>4 - 8</b>	
N°	DESCRIPCION	N°	DC-7	DC-8	DC-9			PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.00	6.00	6.00			6.00	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00				
3	Arena chancada	%	35.00	35.00	35.00				
4	Arena zarandeada	%	29.00	29.00	29.00				
5	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019				
6	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565				
7	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563				
8	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558				
9	Altura promedio de la probeta	mm	63.90	64.75	64.14				
10	Peso de briqueta al aire ( <b>A</b> )	g	1188.0	1190.0	1195.0				
11	Peso de briqueta saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1189.0	1191.0	1195.0				
12	Peso de briqueta sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	672.0	669.0	678.0				
13	Volumen de la briqueta	cm3	517.0	522.0	517.0				
14	Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.298	2.280	2.311			2.296	
15	Peso específico máximo teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.403	2.403	2.403				
16	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	4.37	5.13	3.81			4.44	3 - 5
17	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.562	2.562	2.562				
18	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.631	2.631	2.631				
19	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.70	16.37	15.20			15.8	Mín. 14
20	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	72.13	68.65	74.93			71.9	
21	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.04	1.04	1.04				
22	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	5.02	5.02	5.02				
23	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.28	3.86	3.16			3.43	2 - 4
24	Estabilidad sin corregir	KN	13.96	12.17	15.13				
25	Estabilidad sin corregir	kg	1424	1241	1543				
26	Factor de estabilidad		0.99	0.97	0.98				
27	Estabilidad corregida promedio	kg	1409	1202	1518			1377	Mín. 815
28	Factor de rigidez	kg/cm	4297	3114	4804			4072	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA						
Grava triturada 3/4"		36.0 %	40.8 %						
Arena Chancada 3/8"		35.0 %	59.2 %						
Arena zarandeada		29.0 %							
  <b>ING. YANET CUCHILLA MENDOZA</b> JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP 202986									
<b>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES</b>					<b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>				
<b>INGEOTECON E.I.R.L.</b>					<b>TESISTA</b>				

**Figura C.15** Diseño Marshall convencional con C.A = 6.0%.

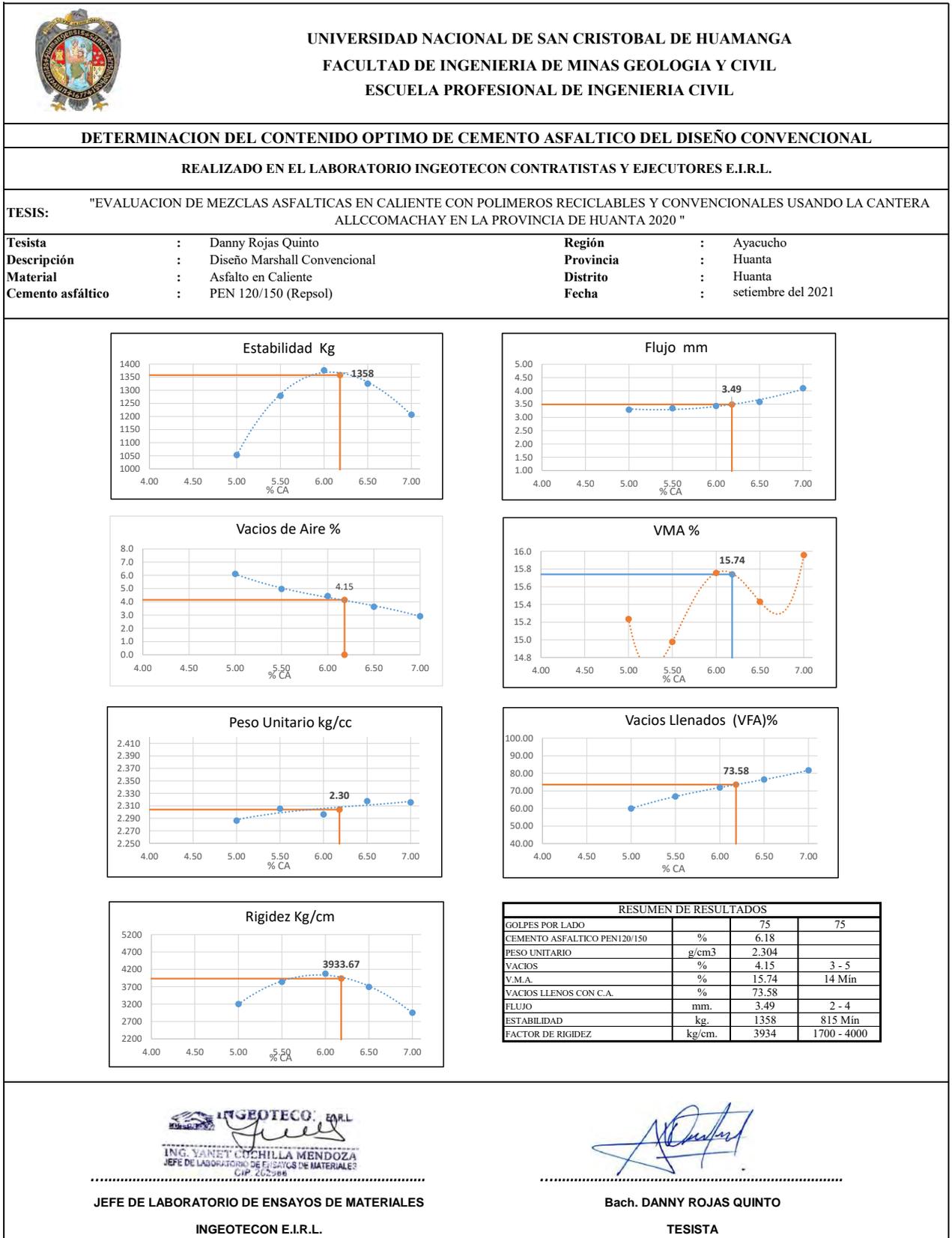
Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>									
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"									
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto	<b>Región</b> : Ayacucho								
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Convencional	<b>Provincia</b> : Huanta								
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente	<b>Distrito</b> : Huanta								
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)	<b>Fecha</b> : setiembre del 2021								
<b>MARSHALL CON C.A=7.0%</b>									
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200	
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.2	44.5	20.0	9.5	5.8	
Especificaciones mac 2	<b>100 - 100</b>	<b>80 - 100</b>	<b>70 - 88</b>	<b>51 - 68</b>	<b>38 - 52</b>	<b>17 - 28</b>	<b>8 - 17</b>	<b>4 - 8</b>	
N°	DESCRIPCION	N°	DC-13	DC-14	DC-15		PROM	ESP.TEC.	
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	7.00	7.00	7.00		7.00		
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00				
3	Arena chancada	%	35.00	35.00	35.00				
4	Arena zarandeada	%	29.00	29.00	29.00				
5	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019				
6	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565				
7	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563				
8	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558				
9	Altura promedio de la probeta	mm	63.86	63.59	63.83				
10	Peso de briqueta al aire ( <b>A</b> )	g	1196.0	1192.0	1194.0				
11	Peso de briqueta saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1196.0	1192.0	1194.0				
12	Peso de briqueta sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	680.0	677.0	678.0				
13	Volumen de la briqueta	cm3	516.0	515.0	516.0				
14	Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.318	2.315	2.314		2.315		
15	Peso específico máximo teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.385	2.385	2.385				
16	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	2.82	2.95	2.98		2.9	3 - 5	
17	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.562	2.562	2.562				
18	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.653	2.653	2.653				
19	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.87	15.99	16.01		16.0	Min. 14	
20	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	82.26	81.53	81.40		81.7		
21	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.36	1.36	1.36				
22	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	5.74	5.74	5.74				
23	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.02	4.40	3.88		4.10	2 - 4	
24	Estabilidad sin corregir	KN	11.57	12.04	12.14				
25	Estabilidad sin corregir	kg	1180	1228	1238				
26	Factor de estabilidad		0.99	1.00	0.99				
27	Estabilidad corregida promedio	kg	1169	1225	1228		1207	Min. 815	
28	Factor de rigidez	kg/cm	2908	2784	3165		2952	1700 - 4000	
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	%		MEZCLA				
Grava triturada 3/4"		36.0 %	40.8 %						
Arena Chancada 3/8"		35.0 %	59.2 %						
Arena zarandeada		29.0 %							
									
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES		Bach. DANNY ROJAS QUINTO		TESISTA					
INGEOTECON E.I.R.L.									

Figura C.17 Diseño Marshall convencional con C.A = 7.0%.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura C.18** Reporte de gráficas de diseño convencional óptimo.  
 Fuente: Elaboración propia.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>								
REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.								
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
Tesista : Danny Rojas Quinto			Región : Ayacucho					
Descripción : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)			Provincia : Huanta					
Material : Asfalto en Caliente			Distrito : Huanta					
Cemento asfáltico : PEN 120/150 (Repsol)			Fecha : setiembre del 2021					
MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =0.5% (PET=30%+GNM=70%)								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.2	44.5	19.9	9.5	5.7
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-1	DM-2	DM-3		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75			
4	Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75			
5	Polímero reciclable (PET)	%	0.15	0.15	0.15			
6	Polímero reciclable (GNM)	%	0.35	0.35	0.35			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 (Gb)	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	63.95	64.51	64.05			
14	Peso de briqueta al aire (A)	g	1185.0	1191.0	1196.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)	g	1186.0	1192.0	1197.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua (C)	g	676.0	680.0	681.0			
17	Volumen de la briqueta	cm3	510.0	512.0	516.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	Adim.	2.324	2.326	2.318		2.323	
19	Peso específico máximo teórica (RICE) (Gmm)	Adim.	2.400	2.400	2.400			
20	Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	3.19	3.08	3.42		3.2	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)		2.543	2.543	2.543			
22	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)		2.635	2.635	2.635			
23	Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.272	14.174	14.482		14.3	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	77.67	78.30	76.36		77.44	
25	Absorción del asfalto (Pba)	%	1.41	1.41	1.41			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)	%	4.86	4.86	4.86			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.24	3.53	4.51		3.76	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	13.80	14.42	15.36			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1407.19	1470	1566			
30	Factor de estabilidad		0.99	0.97	0.99			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1391	1433	1545		1456	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	4294	4060	3425		3926	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena chancada 3/8"		34.75 %	58.7 %					
Arena zarandeada		28.75 %						
Polímeros reciclables		0.50 %	0.50 %					
 <p style="text-align: center;">INGEOTECON E.I.R.L.</p>			 <p style="text-align: center;">Bach. DANNY ROJAS QUINTO</p>					
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES			TESISTA					

**Figura C.19** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5%  
(PET=30%+GNM=70%).  
Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>									
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"									
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto	<b>Región</b> : Ayacucho								
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)	<b>Provincia</b> : Huanta								
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente	<b>Distrito</b> : Huanta								
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)	<b>Fecha</b> : setiembre del 2021								
<b>MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =0.5% (PET=40%+GNM=60%)</b>									
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200	
% Pasa Material	<b>100</b>	<b>87.9</b>	<b>74.6</b>	<b>59.2</b>	<b>44.5</b>	<b>19.9</b>	<b>9.4</b>	<b>5.7</b>	
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	
N°	DESCRIPCION	N°	DM-4	DM-5	DM-6		PROM	ESP.TEC.	
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.18	6.18	6.18		6.18		
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00				
3	Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75				
4	Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75				
5	Polímero reciclable ( <b>PET</b> )	%	0.20	0.20	0.20				
6	Polímero reciclable ( <b>GNM</b> )	%	0.30	0.30	0.30				
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019				
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565				
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563				
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558				
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350				
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913				
13	Altura promedio de la probeta	mm	64.08	63.63	63.63				
14	Peso de briquea al aire ( <b>A</b> )	g	1192.0	1191.0	1188.0				
15	Peso de briquea saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1193.0	1192.0	1190.0				
16	Peso de briquea sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	676.0	676.0	677.0				
17	Volumen de la briquea	cm <sup>3</sup>	517.0	516.0	513.0				
18	Peso específico bulk de la briquea ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.306	2.308	2.316		2.310		
19	Peso específico máximo teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.409	2.409	2.409				
20	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	4.29	4.19	3.87		4.1	3 - 5	
21	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.544	2.544	2.544				
22	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.647	2.647	2.647				
23	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	14.971	14.878	14.596		14.8	Mín. 14	
24	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	71.33	71.86	73.49		72.23		
25	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.56	1.56	1.56				
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	4.72	4.72	4.72				
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.03	3.94	3.58		3.85	2 - 4	
28	Estabilidad sin corregir	KN	11.17	11.69	13.88				
29	Estabilidad sin corregir	kg	1139.00	1192	1415				
30	Factor de estabilidad		0.99	1.00	1.00				
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1123	1188	1411		1241	Mín. 815	
32	Factor de rigidez	kg/cm	2786	3016	3941		3248	1700 - 4000	
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	%		MEZCLA				
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %						
Arena chancada 3/8"		34.75 %	58.7 %						
Arena zarandeada		28.75 %							
Polímeros reciclables		0.50 %	0.50 %						
 <b>INGEOTECON E.I.R.L.</b>		 <b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>		<b>TESISTA</b>		<b>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES</b>		<b>INGEOTECON E.I.R.L.</b>	

**Figura C.20** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5% (PET=40%+GNM=60%).  
Fuente: Elaboración propia.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b>  <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>								
REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.								
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
Tesisista : Danny Rojas Quinto			Región : Ayacucho					
Descripción : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)			Provincia : Huanta					
Material : Asfalto en Caliente			Distrito : Huanta					
Cemento asfáltico : PEN 120/150 (Repsol)			Fecha : setiembre del 2021					
MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =0.5% (PET=50%+GNM=50%)								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.2	44.4	19.9	9.4	5.7
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-7	DM-8	DM-9		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75			
4	Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75			
5	Polímero reciclable (PET)	%	0.25	0.25	0.25			
6	Polímero reciclable (GNM)	%	0.25	0.25	0.25			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 (Gb)	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	63.95	63.88	63.73			
14	Peso de briqueta al aire (A)	g	1200.0	1192.0	1197.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)	g	1201.0	1193.0	1198.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua (C)	g	684.0	676.0	680.0			
17	Volumen de la briqueta	cm3	517.0	517.0	518.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	Adim.	2.321	2.306	2.311		2.313	
19	Peso específico máximo teórica (RICE) (Gmm)	Adim.	2.402	2.402	2.402			
20	Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	3.37	4.01	3.80		3.7	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)		2.545	2.545	2.545			
22	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)		2.638	2.638	2.638			
23	Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.439	15.010	14.818		14.8	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	76.67	73.26	74.38		74.77	
25	Absorción del asfalto (Pba)	%	1.41	1.41	1.41			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)	%	4.86	4.86	4.86			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.66	3.48	3.64		3.59	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	14.18	11.92	13.31			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1445.93	1215	1357			
30	Factor de estabilidad		0.99	0.99	0.99			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1430	1206	1350		1328	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	3906	3464	3708		3693	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena chancada 3/8"		34.75 %	58.7 %					
Arena zarandeada		28.75 %						
Polímeros reciclables		0.50 %	0.50 %					
 <b>ING. YANET CUCHILLA MENDOZA</b> JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP. 262986			 <b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>					
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES			TESISTA					
INGEOTECON E.I.R.L.								

**Figura C.21** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5%  
 (PET=50%+GNM=50%).  
 Fuente: Elaboración propia.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>								
REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.								
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
Tesista : Danny Rojas Quinto			Región : Ayacucho					
Descripción : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)			Provincia : Huanta					
Material : Asfalto en Caliente			Distrito : Huanta					
Cemento asfáltico : PEN 120/150 (Repsol)			Fecha : setiembre del 2021					
MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =0.5% (PET=60%+GNM=40%)								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.2	44.4	19.9	9.4	5.7
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
Nº	DESCRIPCION	Nº	DM-10	DM-11	DM-12		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > Nº 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75			
4	Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75			
5	Polímero reciclable (PET)	%	0.30	0.30	0.30			
6	Polímero reciclable (GNM)	%	0.20	0.20	0.20			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 (Gb)	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	63.71	64.38	63.90			
14	Peso de briqueta al aire (A)	g	1186.0	1196.0	1195.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)	g	1188.0	1198.0	1196.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua (C)	g	669.0	677.0	679.0			
17	Volumen de la briqueta	cm3	519.0	521.0	517.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	Adim.	2.285	2.296	2.311		2.297	
19	Peso específico máximo teórica (RICE) (Gmm)	Adim.	2.396	2.396	2.396			
20	Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.63	4.19	3.53		4.1	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)		2.546	2.546	2.546			
22	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)		2.630	2.630	2.630			
23	Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.801	15.417	14.834		15.4	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	70.725	72.817	76.201		73.25	
25	Absorción del asfalto (Pba)	%	1.28	1.28	1.28			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)	%	4.98	4.98	4.98			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.67	3.62	2.44		3.24	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	10.14	10.68	12.81			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1033.98	1089	1306			
30	Factor de estabilidad		0.99	0.98	0.99			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1028	1065	1293		1129	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	2802	2943	5300		3682	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	%		% MEZCLA			
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena chancada 3/8"		34.75 %	58.7 %					
Arena zarandeada		28.75 %						
Polímeros reciclables		0.50 %	0.50 %					
 <b>INGEOTECON E.I.R.L.</b>			 <b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>					
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES			TESISTA					

**Figura C.22** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5% (PET=60%+GNM=40%).  
Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>								
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto	<b>Región</b> : Ayacucho							
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)	<b>Provincia</b> : Huanta							
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente	<b>Distrito</b> : Huanta							
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)	<b>Fecha</b> : setiembre del 2021							
<b>MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =0.5% (PET=70%+GNM=30%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.2	44.4	19.8	9.4	5.7
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N° DESCRIPCION	N°	DM-13	DM-14	DM-15			PROM	ESP.TEC.
1 Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.18	6.18	6.18			6.18	
2 Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00				
3 Arena chancada	%	34.75	34.75	34.75				
4 Arena zarandeada	%	28.75	28.75	28.75				
5 Polímero reciclable ( <b>PET</b> )	%	0.35	0.35	0.35				
6 Polímero reciclable ( <b>GNM</b> )	%	0.15	0.15	0.15				
7 Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019				
8 Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565				
9 Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563				
10 Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558				
11 Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350				
12 Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913				
13 Altura promedio de la probeta	mm	63.48	63.83	63.86				
14 Peso de briquea al aire ( <b>A</b> )	g	1194.0	1193.0	1193.0				
15 Peso de briquea saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1195.0	1194.0	1194.0				
16 Peso de briquea sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	681.0	678.0	678.0				
17 Volumen de la briquea	cm <sup>3</sup>	514.0	516.0	516.0				
18 Peso específico bulk de la briquea ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.323	2.312	2.312			2.316	
19 Peso específico máximo teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.411	2.411	2.411				
20 Vacíos de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	3.65	4.11	4.11			4.0	3 - 5
21 Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.547	2.547	2.547				
22 Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.650	2.650	2.650				
23 Vacíos del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	14.447	14.850	14.850			14.7	Mín. 14
24 Vacíos llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	74.72	72.35	72.35			73.14	
25 Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.54	1.54	1.54				
26 Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	4.74	4.74	4.74				
27 Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.64	3.46	3.35			3.48	2 - 4
28 Estabilidad sin corregir	KN	13.07	12.28	10.80				
29 Estabilidad sin corregir	kg	1332.75	1252	1101				
30 Factor de estabilidad		1.00	0.99	0.99				
31 Estabilidad corregida promedio	kg	1334	1242	1091			1222	Mín. 815
32 Factor de rigidez	kg/cm	3663	3589	3262			3505	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena chancada 3/8"		34.75 %	58.7 %					
Arena zarandeada		28.75 %						
Polímeros reciclables		0.50 %	0.50 %					
								
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES		Bach. DANNY ROJAS QUINTO						
INGEOTECON E.I.R.L.		TESISTA						

**Figura C.23** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 0.5% (PET=70%+GNM=30%).  
Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>								
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto	<b>Región</b> : Ayacucho							
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)	<b>Provincia</b> : Huanta							
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente	<b>Distrito</b> : Huanta							
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)	<b>Fecha</b> : setiembre del 2021							
<b>MARSHALL CON C.A=6.18% . POLIMEROS =1.0% (PET=40%+GNM=60%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.2	44.5	19.8	9.4	5.7
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-19	DM-20	DM-21		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.50	34.50	34.50			
4	Arena zarandeada	%	28.50	28.50	28.50			
5	Polímero reciclable ( <b>PET</b> )	%	0.40	0.40	0.40			
6	Polímero reciclable ( <b>GNM</b> )	%	0.60	0.60	0.60			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	64.38	64.20	64.14			
14	Peso de briqueta al aire ( <b>A</b> )	g	1192.0	1190.0	1194.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1193.0	1191.0	1195.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	670.0	671.0	679.0			
17	Volumen de la briqueta	cm3	523.0	520.0	516.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.279	2.288	2.314		2.294	
19	Peso específico máximo teórica ( <b>RICE</b> ) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.404	2.404	2.404			
20	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	5.19	4.81	3.75		4.6	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.526	2.526	2.526			
22	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.641	2.641	2.641			
23	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.345	14.999	14.053		14.8	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	66.158	67.958	73.345		69.15	
25	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.75	1.75	1.75			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	4.54	4.54	4.54			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.37	3.91	4.56		4.28	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	12.64	14.13	13.93			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1288.90	1441	1420			
30	Factor de estabilidad		0.98	0.98	0.98			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1261	1416	1398		1358	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	2885	3619	3066		3190	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	%		MEZCLA			
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena chancada 3/8"		34.50 %	58.2 %					
Arena zarandeada		28.50 %						
Polímeros reciclables		1.00 %	1.00 %					
 ING. YANET CUCHILLA MENDOZA JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP. 202384		 Bach. DANNY ROJAS QUINTO						
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES		Bach. DANNY ROJAS QUINTO						
INGEOTECON E.I.R.L.		TESISTA						

**Figura C.25** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.0%  
(PET=40%+GNM=60%).  
Fuente: Elaboración propia.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>								
REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.								
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto			<b>Región</b> : Ayacucho					
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)			<b>Provincia</b> : Huanta					
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente			<b>Distrito</b> : Huanta					
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)			<b>Fecha</b> : setiembre del 2021					
<b>MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =1.0% (PET=50%+GNM=50%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	<b>100</b>	<b>87.9</b>	<b>74.6</b>	<b>59.2</b>	<b>44.4</b>	<b>19.8</b>	<b>9.4</b>	<b>5.7</b>
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-22	DM-23	DM-24		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.50	34.50	34.50			
4	Arena zarandeada	%	28.50	28.50	28.50			
5	Polímero reciclable ( <b>PET</b> )	%	0.50	0.50	0.50			
6	Polímero reciclable ( <b>GNM</b> )	%	0.50	0.50	0.50			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	63.84	63.83	63.59			
14	Peso de briqueta al aire ( <b>A</b> )	g	1194.0	1194.0	1190.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1195.0	1195.0	1191.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	677.0	678.0	675.0			
17	Volumen de la briqueta	cm <sup>3</sup>	518.0	517.0	516.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.305	2.309	2.306		2.307	
19	Peso específico máxima teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.395	2.395	2.395			
20	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	3.76	3.57	3.71		3.7	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.528	2.528	2.528			
22	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.629	2.629	2.629			
23	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	14.461	14.296	14.417		14.4	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	74.02	75.02	74.28		74.44	
25	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.55	1.55	1.55			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	4.73	4.73	4.73			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.11	4.55	3.70		4.12	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	13.79	14.85	14.20			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1406.17	1514	1448			
30	Factor de estabilidad		0.99	0.99	1.00			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1394	1502	1445		1447	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	3394	3300	3907		3534	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena chancada 3/8"		34.50 %	58.2 %					
Arena zarandeada		28.50 %						
Polímeros reciclables		1.00 %	1.00 %					
  <b>ING. YANET CUCHILLA MENDOZA</b> JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP. 202286			 <b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>					
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES			TESISTA					
INGEOTECON E.I.R.L.								

**Figura C.26** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.0%  
(PET=50%+GNM=50%).  
Fuente: Elaboración propia.



		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>						
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>								
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto			<b>Región</b> : Ayacucho					
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)			<b>Provincia</b> : Huanta					
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente			<b>Distrito</b> : Huanta					
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)			<b>Fecha</b> : setiembre del 2021					
<b>MARSHALL CON C.A.=6.18% , POLIMEROS =1.0% (PET=70%+GNM=30%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
% Pasa Material	<b>100</b>	<b>87.9</b>	<b>74.6</b>	<b>59.2</b>	<b>44.2</b>	<b>19.7</b>	<b>9.4</b>	<b>5.7</b>
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
Nº	DESCRIPCION	Nº	DM-28	DM-29	DM-30		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > Nº 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.50	34.50	34.50			
4	Arena zarandeada	%	28.50	28.50	28.50			
5	Polímero reciclable ( <b>PET</b> )	%	0.70	0.70	0.70			
6	Polímero reciclable ( <b>GNM</b> )	%	0.30	0.30	0.30			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	64.24	63.93	64.29			
14	Peso de briqueta al aire ( <b>A</b> )	g	1194.0	1193.0	1195.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1195.0	1194.0	1196.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	675.0	675.0	667.0			
17	Volumen de la briqueta	cm3	520.0	519.0	529.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.296	2.299	2.259		2.285	
19	Peso específico máxima teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.397	2.397	2.397			
20	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	4.21	4.10	5.76		4.7	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.533	2.533	2.533			
22	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.632	2.632	2.632			
23	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	14.943	14.850	16.320		15.4	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	71.84	72.37	64.72		69.64	
25	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.51	1.51	1.51			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	4.76	4.76	4.76			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.06	3.70	3.64		3.80	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	12.65	12.90	12.83			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1289.92	1315	1308			
30	Factor de estabilidad		0.98	0.99	0.98			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1266	1301	1283		1283	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	3119	3519	3523		3387	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena chancada 3/8"		34.50 %	58.2 %					
Arena zarandeada		28.50 %						
Polímeros reciclables		1.00 %	1.00 %					
 <b>ING. YANET CUCHILLA MENDOZA</b> JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP 202596								
<b>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES</b>		<b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>						
<b>INGEOTECON E.I.R.L</b>		<b>TESISTA</b>						

**Figura C.28** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.0% (PET=70%+GNM=30%).  
Fuente: Elaboración propia.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>								
REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.								
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
Tesisista : Danny Rojas Quinto			Región : Ayacucho					
Descripción : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)			Provincia : Huanta					
Material : Asfalto en Caliente			Distrito : Huanta					
Cemento asfáltico : PEN 120/150 (Repsol)			Fecha : setiembre del 2021					
MARSHALL CON C.A.=6.18% , POLIMEROS =1.5% (PET=30%+GNM=70%)								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.3	44.6	19.8	9.4	5.6
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-31	DM-32	DM-33		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25			
4	Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25			
5	Polímero reciclable (PET)	%	0.45	0.45	0.45			
6	Polímero reciclable (GNM)	%	1.05	1.05	1.05			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 (Gb)	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	65.83	64.90	64.64			
14	Peso de briqueta al aire (A)	g	1186.0	1197.0	1192.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)	g	1188.0	1198.0	1193.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua (C)	g	655.0	671.0	666.0			
17	Volumen de la briqueta	cm <sup>3</sup>	533.0	527.0	527.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	Adim.	2.225	2.271	2.262		2.253	
19	Peso específico máximo teórica (RICE) (Gmm)	Adim.	2.392	2.392	2.392			
20	Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	6.98	5.04	5.44		5.8	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)		2.505	2.505	2.505			
22	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)		2.625	2.625	2.625			
23	Vacios del agregado mineral (VAM)	%	16.653	14.922	15.278		15.6	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	58.11	66.20	64.39		62.90	
25	Absorción del asfalto (Pba)	%	1.87	1.87	1.87			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)	%	4.43	4.43	4.43			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.30	4.15	4.18		4.21	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	8.84	11.50	10.84			
29	Estabilidad sin corregir	kg	901.41	1173	1105			
30	Factor de estabilidad		0.95	0.97	0.97			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	853	1132	1074		1020	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	1985	2727	2568		2427	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena Chancada 3/8"		34.25 %	57.7 %					
Arena zarandeada		28.25 %						
Polímeros reciclables		1.50 %	1.50 %					
 ING. YANET CUCHILLA MENDOZA JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP 202308			 Bach. DANNY ROJAS QUINTO					
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES			Bach. DANNY ROJAS QUINTO					
INGEOTECON E.I.R.L			TESISTA					

**Figura C.29** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5%  
(PET=30%+GNM=70%).  
Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>								
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto	<b>Región</b> : Ayacucho							
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)	<b>Provincia</b> : Huanta							
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente	<b>Distrito</b> : Huanta							
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)	<b>Fecha</b> : setiembre del 2021							
<b>MARSHALL CON C.A=6.18% . POLIMEROS =1.5% (PET=40%+GNM=60%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.3	44.5	19.8	9.4	5.6
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-34	DM-35	DM-36		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25			
4	Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25			
5	Polímero reciclable (PET)	%	0.60	0.60	0.60			
6	Polímero reciclable (GNM)	%	0.90	0.90	0.90			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 (Gb)	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	63.88	64.49	64.18			
14	Peso de briqueta al aire (A)	g	1183.0	1196.0	1187.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)	g	1184.0	1197.0	1188.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua (C)	g	666.0	670.0	667.0			
17	Volumen de la briqueta	cm <sup>3</sup>	518.0	527.0	521.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	Adim.	2.284	2.269	2.278		2.277	
19	Peso específico máximo teórica (RICE) (Gmm)	Adim.	2.392	2.392	2.392			
20	Vacíos de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.52	5.12	4.75		4.8	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)		2.508	2.508	2.508			
22	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)		2.625	2.625	2.625			
23	Vacíos del agregado mineral (VAM)	%	14.570	15.106	14.775		14.8	Mín. 14
24	Vacíos llenos de asfalto (VFA)	%	68.95	66.09	67.83		67.62	
25	Absorción del asfalto (Pba)	%	1.81	1.81	1.81			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)	%	4.48	4.48	4.48			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.69	3.99	3.95		3.88	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	12.69	12.58	12.40			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1294.00	1283	1264			
30	Factor de estabilidad		0.99	0.98	0.98			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1282	1251	1243		1259	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	3474	3139	3145		3253	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	%		MEZCLA			
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena Chancada 3/8"		34.25 %	57.7 %					
Arena zarandeada		28.25 %						
Polímeros reciclables		1.50 %	1.50 %					
 <b>ING. YANET CUCHILLA MENDOZA</b> JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES C.I.P. 205-388		 <b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>						
<b>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES</b>		<b>TESISTA</b>						
<b>INGEOTECON E.I.R.L.</b>								

**Figura C.30** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5% (PET=40%+GNM=60%).  
Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>								
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
Tesista : Danny Rojas Quinto	Región : Ayacucho							
Descripción : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)	Provincia : Huanta							
Material : Asfalto en Caliente	Distrito : Huanta							
Cemento asfáltico : PEN 120/150 (Repsol)	Fecha : setiembre del 2021							
<b>MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =1.5% (PET=50%+GNM=50%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.3	44.3	19.7	9.3	5.6
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-37	DM-38	DM-39		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25			
4	Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25			
5	Polímero reciclable (PET)	%	0.75	0.75	0.75			
6	Polímero reciclable (GNM)	%	0.75	0.75	0.75			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 (Gb)	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	64.53	63.80	64.53			
14	Peso de briqueta al aire (A)	g	1194.0	1189.0	1188.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)	g	1195.0	1190.0	1189.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua (C)	g	672.0	668.0	663.0			
17	Volumen de la briqueta	cm3	523.0	522.0	526.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	Adim.	2.283	2.278	2.259		2.273	
19	Peso específico máxima teórica (RICE) (Gmm)	Adim.	2.400	2.400	2.400			
20	Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.88	5.09	5.89		5.3	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)		2.511	2.511	2.511			
22	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)		2.635	2.635	2.635			
23	Vacios del agregado mineral (VAM)	%	14.714	14.909	15.627		15.1	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	66.86	65.84	62.29		65.00	
25	Absorción del asfalto (Pba)	%	1.91	1.91	1.91			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)	%	4.39	4.39	4.39			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.592	4.034	4.362		4.0	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	11.85	11.92	12.04			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1208.38	1216	1228			
30	Factor de estabilidad		0.97	0.99	0.97			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1177	1207	1197		1194	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	3278	2991	2743		3004	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	%		MEZCLA			
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena Chancada 3/8"		34.25 %	57.7 %					
Arena zarandeada		28.25 %						
Polímeros reciclables		1.50 %	1.50 %					
 <b>ING. YANET CUCHILLA MENDOZA</b> <small>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP. 262396</small>		 <b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>						
<b>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES</b>		<b>TESISTA</b>						
<b>INGEOTECON E.I.R.L</b>								

**Figura C.31** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5%  
(PET=50%+GNM=50%).  
Fuente: Elaboración propia.

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>						
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>								
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto			<b>Región</b> : Ayacucho					
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Modificada con Polímeros Reciclables (%PET + %GNM)			<b>Provincia</b> : Huanta					
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente			<b>Distrito</b> : Huanta					
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)			<b>Fecha</b> : setiembre del 2021					
<b>MARSHALL CON C.A.=6.18% , POLIMEROS =1.5% (PET=60%+GNM=40%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.3	44.2	19.7	9.3	5.6
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-40	DM-41	DM-42		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25			
4	Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25			
5	Polímero reciclable ( <b>PET</b> )	%	0.90	0.90	0.90			
6	Polímero reciclable ( <b>GNM</b> )	%	0.60	0.60	0.60			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	64.18	64.15	63.83			
14	Peso de briqueta al aire ( <b>A</b> )	g	1199.0	1191.0	1186.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1200.0	1192.0	1187.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	677.0	672.0	668.0			
17	Volumen de la briqueta	cm <sup>3</sup>	523.0	520.0	519.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.293	2.290	2.285		2.289	
19	Peso específico máximo teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.384	2.384	2.384			
20	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	3.84	3.93	4.15		4.0	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.515	2.515	2.515			
22	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.615	2.615	2.615			
23	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	14.471	14.552	14.747		14.6	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	73.49	73.01	71.89		72.80	
25	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.55	1.55	1.55			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	4.73	4.73	4.73			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.92	3.85	3.90		3.89	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	12.67	10.55	11.56			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1291.80	1076	1179			
30	Factor de estabilidad		0.98	0.98	0.98			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1270	1059	1154		1161	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	3240	2747	2962		2983	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena Chancada 3/8"		34.25 %	57.7 %					
Arena zarandeada		28.25 %						
Polímeros reciclables		1.50 %	1.50 %					
  <b>ING. YANET CICHILLA MENDOZA</b> JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP. 202386		 <b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b> TESISISTA						
<b>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES</b>		<b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>						
<b>INGEOTECON E.I.R.L</b>		<b>TESISTA</b>						

**Figura C.32** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5% (PET=60%+GNM=40%).  
Fuente: Elaboración propia.

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>						
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>								
<b>TESIS</b> : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
<b>Tesista</b> : Danny Rojas Quinto			<b>Región</b> : Ayacucho					
<b>Descripción</b> : Diseño Marshall Convencional			<b>Provincia</b> : Huanta					
<b>Material</b> : Asfalto en Caliente			<b>Distrito</b> : Huanta					
<b>Cemento asfáltico</b> : PEN 120/150 (Repsol)			<b>Fecha</b> : setiembre del 2021					
<b>MARSHALL CON C.A=6.18% . POLIMEROS =1.5% (PET=70%+GNM=30%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	<b>100</b>	<b>87.9</b>	<b>74.6</b>	<b>59.3</b>	<b>44.1</b>	<b>19.6</b>	<b>9.3</b>	<b>5.6</b>
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-43	DM-44	DM-45		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.25	34.25	34.25			
4	Arena zarandeada	%	28.25	28.25	28.25			
5	Polímero reciclable ( <b>PET</b> )	%	1.05	1.05	1.05			
6	Polímero reciclable ( <b>GNM</b> )	%	0.45	0.45	0.45			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	64.35	64.50	64.00			
14	Peso de briqueta al aire ( <b>A</b> )	g	1190.0	1196.0	1186.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1191.0	1198.0	1188.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	666.0	671.0	667.0			
17	Volumen de la briqueta	cm <sup>3</sup>	525.0	527.0	521.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.267	2.269	2.276		2.271	
19	Peso específico máxima teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.387	2.387	2.387			
20	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	5.04	4.92	4.63		4.9	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.518	2.518	2.518			
22	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.619	2.619	2.619			
23	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.550	15.446	15.187		15.4	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	67.58	68.12	69.49		68.40	
25	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.55	1.55	1.55			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	4.72	4.72	4.72			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.01	3.74	3.76		3.83	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	11.49	10.13	12.27			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1171.21	1032	1251			
30	Factor de estabilidad		0.98	0.98	0.99			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1146	1007	1236		1130	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	2859	2692	3290		2947	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena Chancada 3/8"		34.25 %	57.7 %					
Arena zarandeada		28.25 %						
Polímeros reciclables		1.50 %	1.50 %					
 <b>INGEOTECON E.I.R.L.</b>		 <b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b>						
<b>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES</b>		<b>TESISTA</b>						

**Figura C.33** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 1.5% (PET=70%+GNM=30%).  
Fuente: Elaboración propia.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>								
REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.								
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
Tesisista : Danny Rojas Quinto			Región : Ayacucho					
Descripción : Diseño Marshall Convencional			Provincia : Huanta					
Material : Asfalto en Caliente			Distrito : Huanta					
Cemento asfáltico : PEN 120/150 (Repsol)			Fecha : setiembre del 2021					
MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =2.0% (PET=30%+GNM=70%)								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.3	44.6	19.8	9.3	5.6
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-46	DM-47	DM-48		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.00	34.00	34.00			
4	Arena zarandeada	%	28.00	28.00	28.00			
5	Polímero reciclable (PET)	%	0.60	0.60	0.60			
6	Polímero reciclable (GNM)	%	1.40	1.40	1.40			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 (Gb)	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	65.66	65.11	65.29			
14	Peso de briqueta al aire (A)	g	1199.0	1190.0	1181.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)	g	1200.0	1191.0	1183.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua (C)	g	662.0	656.0	648.0			
17	Volumen de la briqueta	cm3	538.0	535.0	535.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	Adim.	2.229	2.224	2.207		2.220	
19	Peso específico máximo teórica (RICE) (Gmm)	Adim.	2.369	2.369	2.369			
20	Vacios de aire en mezcla compactada (Va)	%	5.93	6.11	6.82		6.3	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)		2.486	2.486	2.486			
22	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)		2.596	2.596	2.596			
23	Vacios del agregado mineral (VAM)	%	15.897	16.060	16.695		16.2	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto (VFA)	%	62.73	61.97	59.16		61.28	
25	Absorción del asfalto (Pba)	%	1.73	1.73	1.73			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)	%	4.56	4.56	4.56			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.99	4.17	4.15		4.10	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	9.44	8.99	7.82			
29	Estabilidad sin corregir	kg	962.24	917	797			
30	Factor de estabilidad		0.95	0.96	0.96			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	914	880	762		852	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	2292	2112	1837		2081	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	%		MEZCLA			
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena Chancada 3/8"		34.00 %	57.2 %					
Arena zarandeada		28.00 %						
Polímeros reciclables		2.00 %	2.00 %					
 <p style="text-align: center;">ING. YANET CUCHILLA MENDOZA JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DIP. 262906</p>								
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES			Bach. DANNY ROJAS QUINTO					
INGEOTECON E.I.R.L			TESISTA					

**Figura C.34** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 2.0%  
(PET=30%+GNM=70%).  
Fuente: Elaboración propia.



		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>						
<b>REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.</b>								
<b>TESIS :</b> "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
<b>Tesista :</b> Danny Rojas Quinto			<b>Región :</b> Ayacucho					
<b>Descripción :</b> Diseño Marshall Convencional			<b>Provincia :</b> Huanta					
<b>Material :</b> Asfalto en Caliente			<b>Distrito :</b> Huanta					
<b>Cemento asfáltico :</b> PEN 120/150 (Repsol)			<b>Fecha :</b> setiembre del 2021					
<b>MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =2.0% (PET=50%+GNM=50%)</b>								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	<b>100</b>	<b>87.9</b>	<b>74.6</b>	<b>59.3</b>	<b>44.3</b>	<b>19.7</b>	<b>9.3</b>	<b>5.6</b>
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-52	DM-53	DM-54		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla ( <b>Pb</b> )	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.00	34.00	34.00			
4	Arena zarandeada	%	28.00	28.00	28.00			
5	Polímero reciclable ( <b>PET</b> )	%	1.00	1.00	1.00			
6	Polímero reciclable ( <b>GNM</b> )	%	1.00	1.00	1.00			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 ( <b>Gb</b> )	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	64.99	65.05	64.90			
14	Peso de briqueta al aire ( <b>A</b> )	g	1193.0	1190.0	1193.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca ( <b>B</b> )	g	1194.0	1191.0	1194.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua ( <b>C</b> )	g	661.0	660.0	665.0			
17	Volumen de la briqueta	cm3	533.0	531.0	529.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta ( <b>Gmb</b> )	Adim.	2.238	2.241	2.255		2.245	
19	Peso específico máxima teórica (RICE) ( <b>Gmm</b> )	Adim.	2.378	2.378	2.378			
20	Vacios de aire en mezcla compactada ( <b>Va</b> )	%	5.88	5.76	5.16		5.6	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total ( <b>Gsb</b> )		2.495	2.495	2.495			
22	Gravedad específica efectiva del agregado ( <b>Gse</b> )		2.607	2.607	2.607			
23	Vacios del agregado mineral ( <b>VAM</b> )	%	15.831	15.726	15.194		15.6	Mín. 14
24	Vacios llenos de asfalto ( <b>VFA</b> )	%	62.88	63.38	66.01		64.09	
25	Absorción del asfalto ( <b>Pba</b> )	%	1.76	1.76	1.76			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada ( <b>Pbe</b> )	%	4.53	4.53	4.53			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	3.76	4.19	4.10		4.02	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	9.45	9.78	10.73			
29	Estabilidad sin corregir	kg	963.89	997	1094			
30	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.97			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	928	958	1056		981	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	2466	2287	2576		2443	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena Chancada 3/8"		34.00 %	57.2 %					
Arena zarandeada		28.00 %						
Polímeros reciclables		2.00 %	2.00 %					
								
<b>JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES</b> <b>INGEOTECON E.I.R.L</b>		<b>Bach. DANNY ROJAS QUINTO</b> <b>TESISTA</b>						

**Figura C.36** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 2.0% (PET=50%+GNM=50%).  
Fuente: Elaboración propia.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>								
REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.								
TESIS : "EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"								
Tesisista : Danny Rojas Quinto			Región : Ayacucho					
Descripción : Diseño Marshall Convencional			Provincia : Huanta					
Material : Asfalto en Caliente			Distrito : Huanta					
Cemento asfáltico : PEN 120/150 (Repsol)			Fecha : setiembre del 2021					
MARSHALL CON C.A=6.18% , POLIMEROS =2.0% (PET=60%+GNM=40%)								
Tamices ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa Material	100	87.9	74.6	59.3	44.1	19.6	9.3	5.6
Especificaciones mac 2	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
N°	DESCRIPCION	N°	DM-55	DM-56	DM-57		PROM	ESP.TEC.
1	Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb)	%	6.18	6.18	6.18		6.18	
2	Agregado grueso > N° 4	%	36.00	36.00	36.00			
3	Arena chancada	%	34.00	34.00	34.00			
4	Arena zarandeada	%	28.00	28.00	28.00			
5	Polímero reciclable (PET)	%	1.20	1.20	1.20			
6	Polímero reciclable (GNM)	%	0.80	0.80	0.80			
7	Gravedad específica del C.A PEN 120/150 (Gb)	Adim.	1.019	1.019	1.019			
8	Gravedad específica bulk del agregado grueso	Adim.	2.565	2.565	2.565			
9	Gravedad específica bulk de la arena chancada	Adim.	2.563	2.563	2.563			
10	Gravedad específica bulk de la arena zarandeada	Adim.	2.558	2.558	2.558			
11	Gravedad específica de PET	Adim.	1.350	1.350	1.350			
12	Gravedad específica de GNM	Adim.	0.913	0.913	0.913			
13	Altura promedio de la probeta	mm	64.64	65.43	64.63			
14	Peso de briqueta al aire (A)	g	1190.0	1198.0	1185.0			
15	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (B)	g	1191.0	1199.0	1186.0			
16	Peso de briqueta sumergida en agua (C)	g	664.0	663.0	659.0			
17	Volumen de la briqueta	cm <sup>3</sup>	527.0	536.0	527.0			
18	Peso específico bulk de la briqueta (Gmb)	Adim.	2.258	2.235	2.249		2.247	
19	Peso específico máxima teórica (RICE) (Gmm)	Adim.	2.376	2.376	2.376			
20	Vacíos de aire en mezcla compactada (Va)	%	4.96	5.93	5.36		5.4	3 - 5
21	Peso específico bulk del agregado total (Gsb)		2.499	2.499	2.499			
22	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)		2.605	2.605	2.605			
23	Vacíos del agregado mineral (VAM)	%	15.236	16.099	15.593		15.6	Mín. 14
24	Vacíos llenos de asfalto (VFA)	%	67.42	63.16	65.61		65.40	
25	Absorción del asfalto (Pba)	%	1.65	1.65	1.65			
26	Asfalto efectivo de la mezcla compactada (Pbe)	%	4.64	4.64	4.64			
27	Flujo de mezcla compactada (0.01") 0.25mm	mm	4.22	4.10	4.20		4.17	2 - 4
28	Estabilidad sin corregir	KN	12.04	10.30	10.80			
29	Estabilidad sin corregir	kg	1227.37	1050	1101			
30	Factor de estabilidad		0.97	0.95	0.97			
31	Estabilidad corregida promedio	kg	1192	1001	1070		1088	Mín. 815
32	Factor de rigidez	kg/cm	2824	2442	2549		2605	1700 - 4000
OBSERVACIONES:		% DISEÑO	% MEZCLA					
Grava triturada 3/4"		36.00 %	40.8 %					
Arena Chancada 3/8"		34.00 %	57.2 %					
Arena zarandeada		28.00 %						
Polímeros reciclables		2.00 %	2.00 %					
 <p style="text-align: center;">ING. YANET CUCHILLA MENDOZA JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES CIP. 202286</p>								
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES			Bach. DANNY ROJAS QUINTO					
INGEOTECON E.I.R.L.			TESISTA					

**Figura C.37** Diseño Marshall modificado con polímeros reciclables = 2.0%  
(PET=60%+GNM=40%).  
Fuente: Elaboración propia.



## C.4 Ensayo de cántabro MTC E 515



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGIA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

### DESGASTE DE BRIQUETAS MEDIANTE EL ENSAYO CANTABRO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

MTC E 515

REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.

TESIS : "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Ensayo de Cantabro en un Diseño Convencional	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Convencional	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Fecha</b>	: octubre del 2021
<b>Cantera</b>	: Allccomachay		

### DESGASTE DE BRIQUETAS CONVENCIONALES POR ENSAYO CANTABRO CON C.A OPTIMO = 6.18%

POLIMERO RECICLABLE = 0%

(PET=0%

GNM=0% )

N° BRIQUETA	MASA INICIAL (g)	MASA FINAL (g)	TEMPERATURA (°C)	DESGASTE (%)	PROMEDIO DESGASTE (%)
CTC-1	990.2	975.8	22.3 °C	1.45	
CTC-2	995.8	982.7	22.3 °C	1.32	
CTC-3	990.4	981.7	22.3 °C	0.88	1.31
CTC-4	991.1	976.1	22.3 °C	1.51	
CTC-5	993.4	979.4	22.3 °C	1.41	

### DESGASTE DE BRIQUETAS MEDIANTE EL ENSAYO CANTABRO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMEROS RECICLABLES (PET+GNM)

MTC E 515

REALIZADO EN EL LABORATORIO INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.

TESIS : "EVALUACION DE MECLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLIMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

<b>Tesista</b>	: Danny Rojas Quinto	<b>Región</b>	: Ayacucho
<b>Descripción</b>	: Ensayo de Cantabro en un Diseño Modificado	<b>Provincia</b>	: Huanta
<b>Material</b>	: Asfalto en Caliente Modificado	<b>Distrito</b>	: Huanta
<b>C. Asfáltico</b>	: PEN 120/150 (Repsol)	<b>Fecha</b>	: octubre del 2021
<b>Cantera</b>	: Allccomachay		

### DESGASTE DE BRIQUETAS MODIFICADOS POR ENSAYO CANTABRO CON C.A OPTIMO = 6.18%

POLIMERO RECICLABLE OPTIMO

=1.50%

( PET=62.50%

GNM=37.50% )

N° BRIQUETA	MASA INICIAL (g)	MASA FINAL (g)	TEMPERATURA (°C)	DESGASTE (%)	PROMEDIO DESGASTE (%)
CTM-1	1001.7	989.4	22.4 °C	1.23	
CTM-2	994.3	984.7	22.4 °C	0.97	
CTM-3	988.8	975.0	22.4 °C	1.40	1.18
CTM-4	994.2	980.3	22.4 °C	1.40	
CTM-5	991.1	982.0	22.4 °C	0.92	

INGEOTECON E.I.R.L.  
ING. YANET COCHILLA MENDOZA  
JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CUR. 123456

JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Bach. DANNY ROJAS QUINTO

Bach. DANNY ROJAS QUINTO

INGEOTECON E.I.R.L.

TESISTA

Figura C.39 Ensayo de cántabro para diseño de mezcla asfáltica convencional y modificada.

Fuente: Elaboración propia.

## C.5 Desempeño rueda de Hamburgo (convencional)



EXPEDIENTE R.H. / LMA  
111-2021-LAB TDM ASFALTOS

### REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS AASHTO T - 324

PROYECTO : TESIS "EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON POLÍMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"  
UBICACIÓN : HUANTA  
SOLICITANTE : ROJAS QUINTO DANNY  
REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE REALIZADO Y ENVIADO POR EL SOLICITANTE  
F. DE RECEPCIÓN : 23/11/2021

#### INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS O ESPECÍMENES DE ENSAYO

CANTERA	: ALLCCOMACHAY	TIPO DE COMPACTACIÓN	: COMPACTADOR GIRATORIO
DESCRIPCIÓN	: MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL - MAC 2	PORCENTAJE DE VACÍOS	: 7,5 %
FILLER	: ---	CONTENIDO DE ASFALTO	: 6,18 %
ASFALTO	: PEN 120/150 REPSOL	DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA	: 2413 Kg/m <sup>3</sup>
ADITIVO	: ---		

#### DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

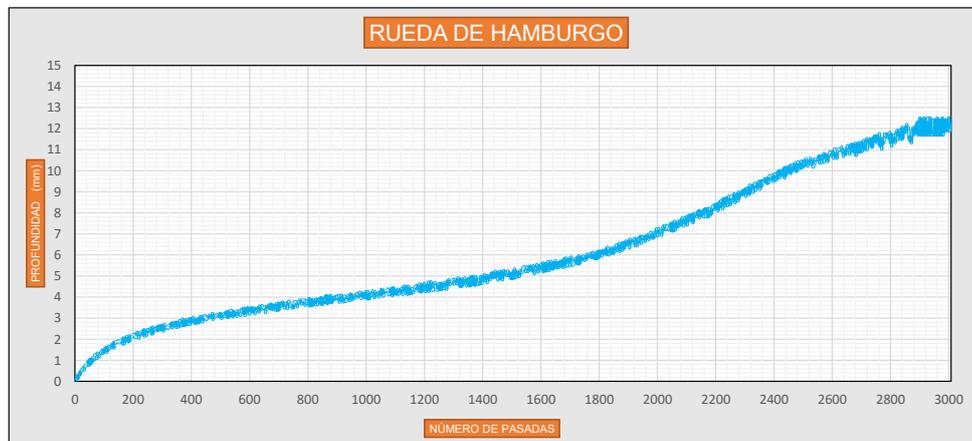
NÚMERO DE ENSAYO	: 111 -2021	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 50 °C
TIPO DE MUESTRA	: Doble Núcleos	NÚMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
DIÁMETRO	: 150,0 mm	PROFUNDIDAD MÁXIMA	: 12,5 mm
ESPESOR	: 60,0 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA	: 52 pasadas / min
		OPERADOR	: RV

#### RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL RUT.	: 12,49 mm		
TIPO DE MEDIO TÉRMICO	: AGUA		
FEEDBACK UTILIZADO	: EN EL TANQUE		
TEMPERATURA MÁXIMA	: 50,9 °C		
TEMPERATURA MÍNIMA	: 49,9 °C	PASADAS	: 3008

#### OBSERVACIONES

- ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.
- LA PRUEBA SE DETUVO AUTOMÁTICAMENTE EN LAS 3008 PASADAS DE LA RUEDA.
- LA CONDICIÓN DE PROFUNDIDAD MÁXIMA DE AHUELLAMIENTO FUE ALCANZADA.



#### MÉTODOS DE ENSAYO

- AASHTO T 324 - 14 HAMBURG WHEEL-TRACK TESTING OF COMPACTED HOT MIX ASPHALT (HMA)
- AASHTO R 30 MIXTURE CONDITIONING OF HOT MIX ASPHALT (HMA)
- AASHTO T 312 PREPARING AND DETERMINING THE DENSITY OF ASPHALT MIXTURE SPECIMENS BY MEANS OF THE SUPERPAVE GYRATORY COMPACTOR
- ASTM D2726 PESO ESPECÍFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECÍMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA
- ASTM D2041 PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS
- ASTM D3203 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

Romel Vasquez Z.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Fecha de reporte : Lima, 27 de noviembre del 2021

EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO

**Figura C.40** Rueda cargada de Hamburgo en un diseño convencional

Fuente: Elaboración propia.

REG-III-TEC-089.V01

ESPECIMEN DE ENSAYO



EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO

REG-III-TEC-089.V01

**Figura C.41** Resultados de briquetas de doble núcleo con rueda cargada de Hamburgo en un diseño convencional

Fuente: Elaboración propia.

## C.6 Desempeño rueda de Hamburgo (modificada)



EXPEDIENTE R.H. / LMA

110-2021-LAB TDM ASFALTOS

### REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO

PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS

AASHTO T - 324

PROYECTO : TESIS "EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON POLÍMEROS RECICLABLES Y CONVENCIONALES USANDO LA CANTERA ALLCCOMACHAY EN LA PROVINCIA DE HUANTA 2020"

UBICACIÓN : HUANTA

SOLICITANTE : ROJAS QUINTO DANNY

REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE REALIZADO Y ENVIADO POR EL SOLICITANTE

F. DE RECEPCIÓN : 23/11/2021

#### INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS O ESPECÍMENES DE ENSAYO

CANTERA : ALLCCOMACHAY

DESCRIPCIÓN : MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS RECICLABLES - MAC 2

FILLER : ---

ASFALTO : PEN 120/150 REPSOL

ADITIVO : ---

POLÍMEROS : PET - GNM

TIPO DE COMPACTACIÓN : COMPACTADOR GIRATORIO

PORCENTAJE DE VACÍOS : 7,0 %

CONTENIDO DE ASFALTO : 6,18 %

DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA : 2380 Kg/m<sup>3</sup>

#### DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

NÚMERO DE ENSAYO : 110 - 2021

TIPO DE MUESTRA : Doble Núcleo

DIÁMETRO : 150,0 mm

ESPESOR : 60,0 mm

TEMPERATURA DE ENSAYO : 50 °C

NÚMERO MAX. PASADAS : 20000 pasadas

PROFUNDIDAD MÁXIMA : 12,5 mm

VELOCIDAD DE LA RUEDA : 52 pasadas / min

OPERADOR : RV

#### RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL RUT. : 12,50 mm

TIPO DE MEDIO TÉRMICO : AGUA

FEEDBACK UTILIZADO : EN EL TANQUE

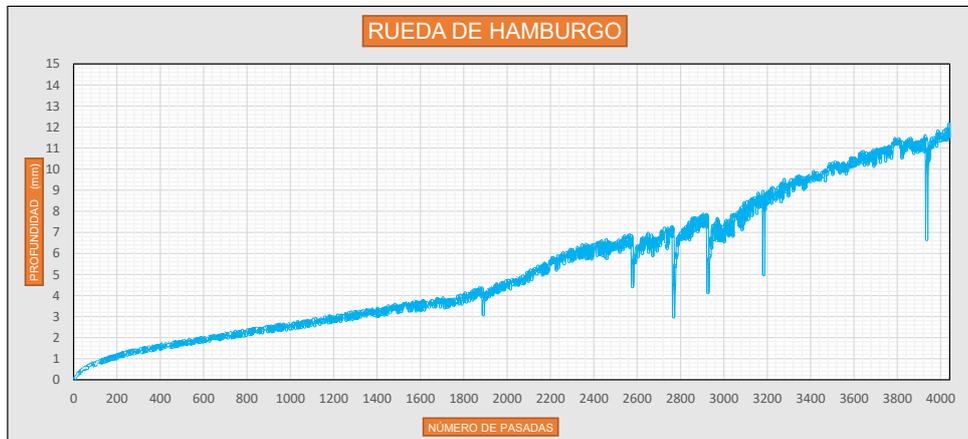
TEMPERATURA MÁXIMA : 51,0 °C

TEMPERATURA MÍNIMA : 49,9 °C

PASADAS : 4042

#### OBSERVACIONES

- ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.
- LA PRUEBA SE DETUVO AUTOMÁTICAMENTE EN LAS 4042 PASADAS DE LA RUEDA.
- LA CONDICIÓN DE PROFUNDIDAD MÁXIMA DE AHUELLAMIENTO FUE ALCANZADA.



#### MÉTODOS DE ENSAYO

- AASHTO T 324 - 14 HAMBURG WHEEL-TRACK TESTING OF COMPACTED HOT MIX ASPHALT (HMA)
- AASHTO R 30 MIXTURE CONDITIONING OF HOT MIX ASPHALT (HMA)
- AASHTO T 312 PREPARING AND DETERMINING THE DENSITY OF ASPHALT MIXTURE SPECIMENS BY MEANS OF THE SUPERPAVE GYRATORY COMPACTOR
- ASTM D2726 PESO ESPECÍFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECÍMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA
- ASTM D2041 PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS
- ASTM D3203 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

Romel Vasquez Z.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Fecha de reporte : Lima, 27 de noviembre del 2021

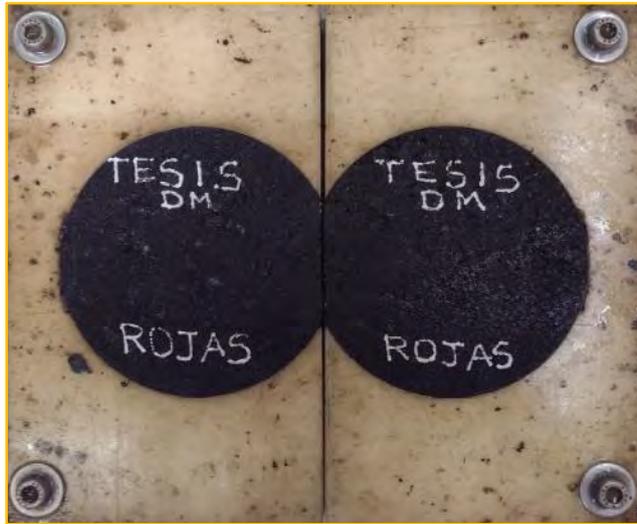
EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO

REG-III-TEC-089.V01

**Figura C.42** Rueda cargada de Hamburgo en un diseño modificado

Fuente: Elaboración propia.

ESPECIMEN DE ENSAYO



EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO

REG-III-TEC-089.V01

**Figura C.43** Resultados de briquetas de doble núcleo con rueda cargada de Hamburgo en un diseño modificado

Fuente: Elaboración propia.

# Anexo D

## Certificado de calibración

---

### D.1 Equipo de laboratorio TDM asfaltos

RUEDA DE HAMBURGO - TESISTA DANNY ROJAS

**GUILLERMO VERA**

para mí ▾

Estimado Danny. Buenas tardes.

Te adjunto los informes de Hamburgo y la información de las calibraciones de los equipos de ensayo.

Item	Equipo	Marca	Serie	Certificado	Fecha	Empresa a cargo de calibración
1	Compactador giratorio	Controls	14004920	TC-17792-2021	18/10/2021	Test & Control SAC
2	Rueda de Hamburgo	Controls	14008482	TC-17795-2021	18/10/2021	Test & Control SAC

Saludos cordiales.

Guillermo Vera Bonzano

EQUIPO COMPACTADOR GIRATORIO AASTHO T 312



EQUIPO DE RUEDA DE HAMBURGO AASTHO T324



**Figura D.44** Calibración del equipo compactador giratorio y rueda de Hamburgo

Fuente: Elaboración propia.

## D.2 Equipo de laboratorio ingeotecon

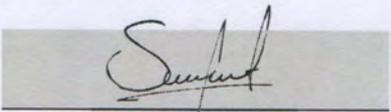
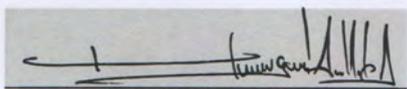
 <b>PINZUAR</b> LABORATORIO DE METROLOGÍA		 ACREDITADO <b>ONAC</b> ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA ISO/IEC 17025:2017 11-LAC-004
<b>Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza</b> <i>Calibration Certificate - Laboratory of Force</i>		<b>F-22933-012 R0</b>
<i>Page / Pág. 1 de 5</i>		
<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	MÁQUINA MULTIUSOS PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN	<p>Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	PINZUAR S.A.S.	
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	PS-27	
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	186	
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	PRC-001	
<b>Capacidad Máxima</b> <i>Maximum Capacity</i>	5000 N	
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.	
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	Manzana. P2 Lote. 8 A.H. Covadonga Ayacucho - Huamanga - Ayacucho	
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	Huamanga - Ayacucho	
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of calibration</i>	2021 - 02 - 25	
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of issue</i>	2021 - 03 - 17	
<b>Número de páginas del certificado, incluyendo anexos</b> <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	05	
<p><small>Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.</small></p> <p><small>Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.</small></p>		
<b>Firmas que Autorizan el Certificado</b> <i>Signatures Authorizing the Certificate</i>		
 <b>Ing. Sergio Iván Martínez</b> <i>Director Laboratorio de Metrología</i>	 <b>Ing. Miguel Andrés Vela Avellaneda</b> <i>Métrólogo Laboratorio de Metrología</i>	
<small>LM-PC-05-F-01 R12.0</small>		
<b>ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO</b> <small>Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1038-72   PBX. 57 (1) 745 4555 - 3174233640   labmetrologia@pinzuar.com.co   WWW.PINZUAR.COM.CO</small>		

Figura D.45 Equipo multiusos para ensayos a compresión.

Fuente: Elaboración propia.

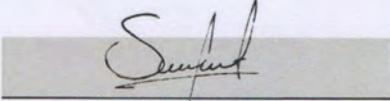
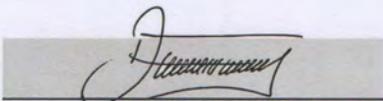
 <b>PINZUAR</b> LABORATORIO DE METROLOGÍA		 ACREDITADO <b>ONAC</b> ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA ISO/IEC 17025:2017 11-LAC-004
<b>Certificado de Calibración - Laboratorio de Masa y Balanzas</b> <i>Calibration Certificate - Mass and Weighing Instruments Laboratory</i>		<b>M-22933-003 R0</b>
Page / Pág 1 de 4		
<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	INSTRUMENTO DE PESAJE NO AUTOMÁTICO	<p>Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados reportados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This calibration certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	OHAUS	
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	PAJ4102	
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	B640110613	
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	BLZ - 004	
<b>Carga Máxima</b> <i>Maximum load</i>	4100 g	
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.	
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	Mza. P2 Lote. 8 A.H. Covadonga Ayacucho - Huamanga - Ayacucho	
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	Huamanga - Ayacucho	
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of calibration</i>	2021 - 02 - 26	
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of issue</i>	2021 - 03 - 17	
<b>Número de páginas del certificado, incluyendo anexos</b> <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	04	
<p>           Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología PINZUAR S.A.S no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.  <i>Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.</i> </p>		
<b>Firmas que Autorizan el Certificado</b> <i>Signatures Authorizing the Certificate</i>		
 <b>Ing. Sergio Iván Martínez</b> <i>Director Laboratorio de Metrología</i>		 <b>Tecg. Francisco Durán Romero</b> <i>Metrologo Laboratorio de Metrología</i>
LM-PC-247-01 R 7.0		
<b>ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO</b> Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1038-72   PBX: 57 (1) 745 4555 - 3174233640   labmetrologia@pinzuar.com.co   WWW.PINZUAR.COM.CO		

Figura D.46 Equipo de masa y balanzas.  
Fuente: Elaboración propia.