

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Análisis comparativo de un pavimento convencional y un
pavimento ecológico con plástico triturado, Chaclacayo – 2023**
Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero civil

Autor:

Bach. Bodger Kevin Aire López

Bach. José Carlos Carpio Rodríguez

Asesor:

Ing. Diaz Garamendi David

Lima, abril del 2025

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Ing. David Díaz Garamendi, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Análisis comparativo de un pavimento convencional y un pavimento ecológico con plástico triturado, Chaclacayo – 2023**” de los autores Kevin Bodger Aire López y Bachiller José Carlos Carpio Rodríguez, tiene un índice de similitud de **14 %** verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los **15** días del mes de **marzo** del año **2025**.



Ing. David Díaz Garamendi

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Naña, Villa Unión, a 25 día(s) del mes de julio del año 2025 siendo las 09:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mg. Juana Beatriz Aguirre Pari
Zapata Artesana
Sanchez
Garamendi

el (la) secretario(a): Mtra. Fiorella Maira

y los demás miembros: Mg. Armin Quintana

y el (la) asesor(a) Ing. David Diaz

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:
"Análisis comparativo de un pavimento convencional y un pavimento ecológico con plástico triturado. Chadacayo - 2023"

del(los) bachiller/es: a) Aire Lopez Bodger Kevin
b) Carpio Rodriguez José Carlos
c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Aire Lopez Bodger Kevin

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy bueno

Bachiller (b): Carpio Rodriguez José Carlos

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy bueno

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

Esta sustentación fue realizada de manera virtual u online sincrónica según conforme al Reglamento General de Grados y Títulos.

Quiero agradecer, a mi madre por el apoyo constante que me dio para poder culminar todo este proceso, gracias a ella es por quien sigo superándome día a día, gracias a su constante motivación por culminar esta investigación, ya que siempre estaba ahí detrás preguntando por cada paso que seguía e incentivándome a seguir consultado por el siguiente paso y así poder saber que es lo que tenía que hacer.

Gracias a las personas que conocí en este proceso, quien también fueron una pieza crucial en las cuales me lograron a orientar y ayudar en este camino.

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	6
1. MATERIALES Y MÉTODOS	8
1.1 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	8
1.2 SELECCIÓN DE LA MUESTRA Y PROBETAS	9
1.3 1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO Y VARIABLES ANALIZADAS	9
1.4 PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO	10
1.5 CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE SEGURIDAD	10
2. RESULTADOS	11
2.1 DISEÑO DE MEZCLAS	11
2.2 PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	11
2.3 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES AL ADICIONAR PET	12
2.4 ANÁLISIS DE COSTOS	16
3. DISCUSIÓN	21
4. CONCLUSIONES	23
5. REFERENCIAS	24

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN PAVIMENTO
CONVENCIONAL Y UN PAVIMENTO
ECOLÓGICO CON PLÁSTICO TRITURADO,
CHACLACAYO – 2023**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF A CONVENTIONAL
PAVEMENT AND AN ECOLOGICAL PAVEMENT WITH
SHREDDED PLASTIC, CHACLACAYO – 2023**

José Carlos Carpio Rodríguez
Universidad Peruana Unión
Lima, Perú,
josecarpio@upeu.edu.pe
0009-0007-2594-4226

Kevin Bodger Aire López
Universidad Peruana Unión
Lima, Perú,
kevinaire@upeu.edu.pe
0000-0002-7993-1101

David Diaz Garamendi
Universidad Peruana Unión
Lima, Perú, daviddiaz@upeu.edu.pe
0000-0002-1560-5104

RESUMEN

El uso de plástico triturado (PET) como aditivo en mezclas asfálticas se presenta como una alternativa prometedora para mejorar el desempeño del pavimento y promover la reutilización de residuos. En este estudio, se comparó un pavimento convencional con uno ecológico que incorpora PET, en el tramo de la Carretera Central Km 22, Los Olivos, distrito de Chaclacayo. Se llevó a cabo una investigación de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental, evaluándose 16 probetas (4 convencionales y 12 ecológicas). El análisis incluyó el porcentaje de vacíos de aire, peso específico, V.M.A., vacíos llenos, flujo, estabilidad y la relación estabilidad/flujo bajo normas establecidas por el Manual de Carreteras del MTC. Los resultados evidenciaron que la adición de 2 % de PET logra vacíos de aire de 4.70 %, peso específico de 2.34 g/cm³, V.M.A. de 15.10 %, vacíos llenos de 68.90 %, flujo de 8.60 mm, estabilidad de 2518 kg y una relación estabilidad/flujo de 2928 kg/cm, cumpliendo los rangos normativos. Asimismo, se observó una ventaja económica al usar PET, dada la mínima variación en el costo total de la mezcla. Con base en estos hallazgos, se concluye que la incorporación de un 2 % de PET mejora las propiedades mecánicas del pavimento y contribuye a la sostenibilidad mediante la reutilización de residuos plásticos, sin incrementar significativamente los costos de producción.

Palabras clave: pavimentos asfálticos, PET, propiedades mecánicas, sostenibilidad

ABSTRACT

The use of shredded plastic (PET) as an additive in asphalt mixtures has emerged as a promising alternative for enhancing pavement performance while promoting the reuse of waste materials. This study compares a conventional pavement with an eco-friendly pavement containing PET, in the Carretera Central Km 22 segment, Los Olivos, Chaclacayo district. An applied, quantitative, and experimental research approach was followed, evaluating 16 specimens (4 conventional and 12 eco-friendly). The analysis included air voids content, specific gravity, V.M.A., voids filled, flow, stability, and stability/flow ratio according to the Peruvian Road Manual standards. Results showed that adding 2% PET achieved an air voids content of 4.70%, specific gravity of 2.34 g/cm³, 15.10% V.M.A., 68.90% voids filled, 8.60 mm flow, 2518 kg stability, and a stability/flow ratio of 2928 kg/cm, all within the required specifications. Economically, minimal variations in overall cost were observed when including PET. Thus, incorporating 2% PET improved the mechanical properties of the asphalt mixture and contributed to sustainability through plastic waste reuse, without significantly increasing production costs.

Keywords: asphalt pavements, PET, mechanical properties, sustainability.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la contaminación ambiental y el deterioro del planeta han impulsado a la comunidad científica a buscar soluciones que contribuyan a mitigar los impactos adversos en el entorno. Bajo este contexto, el campo de la ingeniería civil, específicamente en la construcción de pavimentos, ha experimentado un notable interés por el desarrollo de materiales y técnicas ecoamigables que reduzcan la huella ambiental y, a la vez, ofrezcan un rendimiento adecuado para la infraestructura vial. Diversas investigaciones han mostrado que la incorporación de materiales reciclados y/o residuos industriales puede mejorar el desempeño mecánico y reducir el impacto ecológico de los pavimentos [1,16,17].

Desde una perspectiva global, el reciclaje y la reutilización de residuos cobran importancia a fin de alcanzar sistemas constructivos más sostenibles [4]. Investigaciones previas sugieren que la adición de materiales plásticos reciclados, caucho, fibras plásticas o distintos subproductos industriales mejora propiedades como la durabilidad, la resistencia a la deformación permanente y la estabilidad de la mezcla asfáltica o de los concretos hidráulicos [5–8]. En línea con ello, Abu y Jung [1] reportaron efectos beneficiosos de la adición de fibras plásticas en mezclas asfálticas bajo diversas temperaturas; Saha et al. [17] analizaron el desempeño de porcentajes crecientes de plástico reciclado en la mejora de la resistencia de pavimentos; y Rathore y Sharad [16] exploraron el uso de aditivos como Sasobit, Evotherm y Advera para incrementar la estabilidad y reducir la susceptibilidad al flujo.

A escala nacional, Olarte [14] y Vizcarra [19] han propuesto incorporar componentes reciclados —como caucho o PET— en pavimentos flexibles, hallando incrementos en la elasticidad y la resistencia al desgaste. Amaro y Capcha [2] enfatizaron la relevancia de estabilizar capas de pavimento con aditivos provenientes de residuos, mostrando mejor respuesta en términos de capacidad de soporte y sostenibilidad. Asimismo, investigaciones recientes destacan la viabilidad de apostar por pavimentos ecológicos, donde se integran tanto la eficiencia mecánica como la disminución de emisiones de CO₂ durante la producción [12,13].

En la misma línea, Gschösser et al. [9] investigaron en Suiza el balance ecológico completo (“cradle-to-gate”) de varios tipos de materiales empleados en carreteras, concluyendo que una selección adecuada de mezclas y la inclusión de subproductos podrían llegar a reducir la huella ambiental hasta en un 50 %. Por otra parte, Zhou et al. [20] examinaron el impacto de adoptar pavimentos permeables y cubiertas verdes a nivel de ciudad (Corvallis, Oregón), evidenciando beneficios tanto económicos como ambientales, especialmente en la reducción de escorrentías y en la mejora de la calidad del agua urbana. Además, Gao et al. [8] propusieron la utilización de cenizas volantes de incineración de residuos municipales para la producción de concreto ecológico y

adoquines de pavimento, validando sus propiedades mecánicas y confirmando un riesgo ambiental gestionable si se aplican los tratamientos y dosis adecuadas.

Pese a los importantes hallazgos, aún existe la necesidad de profundizar en la evaluación comparativa de pavimentos convencionales versus pavimentos ecológicos (con incorporación de residuos), abordando de manera sistemática la caracterización de sus propiedades mecánicas, su durabilidad, su huella de carbono y los beneficios económicos derivados de su implementación a gran escala.

Aunque la norma CE.010 define los requisitos para toda la estructura del pavimento, esta investigación se enfoca exclusivamente en la carpeta asfáltica, analizando sus propiedades mecánicas con la adición de plástico triturado (PET). Al ser la capa expuesta a cargas y factores ambientales, los ensayos y resultados se limitan a su desempeño, alineándose con los criterios del Manual de Carreteras del MTC, sin modificar la estructura completa del pavimento.

La presente investigación parte de la hipótesis de que la incorporación de plástico triturado (PET) en una mezcla asfáltica optimiza sus propiedades mecánicas y económicas sin comprometer los estándares normativos establecidos para pavimentos flexibles. Se busca determinar si el PET mejora la estabilidad, flujo y durabilidad de la carpeta asfáltica, contribuyendo así a una alternativa sostenible en la infraestructura vial. La problemática abordada radica en la necesidad de evaluar el impacto de la incorporación de plástico triturado (PET) en mezclas asfálticas, analizando su viabilidad técnica y su influencia en las propiedades mecánicas del pavimento en comparación con mezclas convencionales.

Por consiguiente, la presente investigación se desarrolla con el propósito de determinar el análisis comparativo de un pavimento convencional y un pavimento ecológico con adición de plástico triturado, en la Carretera Central Km 22 (Chaclacayo), enfocándose en propiedades mecánicas, comportamiento frente a la deformación, costos y la reducción de impactos ambientales.

Para tal fin, se llevó a cabo un diseño experimental que comprende la elaboración y ensayo de distintas probetas de mezclas asfálticas, con y sin adición de plástico. Se caracterizaron parámetros como vacíos de aire, estabilidad, flujo, módulo de rigidez y costos de producción e instalación. De esta manera, se espera aportar datos empíricos que permitan cuantificar y resaltar las ventajas potenciales de este tipo de pavimento ecológico y, al mismo tiempo, ofrecer lineamientos prácticos para la implementación de alternativas sostenibles en obras viales, alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible y la economía circular.

A continuación, se detallan la metodología seguida, los resultados obtenidos y la discusión de los principales hallazgos, a fin de contribuir en la toma de decisiones técnicas y ambientales en el sector de la construcción vial.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo y de tipo experimental, puesto que se parte de la comparación de dos tipos de pavimento (convencional y ecológico con plástico triturado) para evaluar sus propiedades mecánicas y el impacto económico-ambiental. Se siguieron ensayos de laboratorio con un diseño plenamente orientado a medir variables como estabilidad, flujo, vacíos de aire, peso específico, vacíos llenos, entre otros, de acuerdo con normas técnicas y protocolos establecidos en el área de la ingeniería civil.

1.2 SELECCIÓN DE LA MUESTRA Y PROBETAS

Se definió un total de 16 probetas, de las cuales 4 se destinaron al pavimento convencional (sin aditivo plástico) y 12 al pavimento ecológico, distribuidas en distintos porcentajes de adición de plástico triturado (2 %, 5 % y 10 %). Este plástico fue cuidadosamente seleccionado y procesado (limpieza, secado y triturado a un tamaño promedio uniforme) antes de incorporarse a la mezcla asfáltica.

Cabe destacar que el costo del PET especificado en el análisis económico (0.85/kg) ya incluye los gastos asociados a estos procesos de preparación (recolección, clasificación, limpieza y triturado), los cuales fueron realizados por la empresa “Recicladora García”.

Para la elaboración de las probetas, se siguieron estos pasos:

- Preparación de los agregados: Se pesaron y tamizaron los agregados pétreos de acuerdo con las granulometrías definidas para cada mezcla (convencional y ecológica).
- Dosificación de ligante asfáltico: Se empleó un asfalto de penetración adecuada (p. ej. 60–70) según los requerimientos del diseño, calentado hasta la temperatura recomendada para garantizar una mezcla homogénea.
- Adición de plástico triturado: En el caso del pavimento ecológico, el plástico triturado se mezcló con los agregados antes de introducir el ligante asfáltico, manteniendo el porcentaje de incorporación predeterminado.
- Mezclado: Se llevó a cabo en un mezclador de laboratorio, respetando la temperatura y el tiempo de amasado para asegurar la correcta distribución del plástico y el asfalto sobre los agregados.
- Moldeado de las probetas: Se utilizaron moldes cilíndricos estandarizados (p.ej. de 10.16 cm de diámetro y 6.35 cm de altura) para compactar la

mezcla mediante un pisón mecánico, siguiendo los procedimientos de compactación de la metodología Marshall.

- Curado y preparación final: Las probetas se dejaron enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se almacenaron en un ambiente controlado hasta la fecha de su ensayo.

1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO Y VARIABLES ANALIZADAS

Para evaluar el desempeño de las mezclas, se llevaron a cabo los siguientes ensayos, bajo las normas ASTM D6926 y ASTM D6927 [5-6]. Además, los rangos aceptados para cada uno de estos se evalúan en base al “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) [13].

- Contenido de vacíos de aire: Empleando el método de pesaje en agua y en aire para determinar la densidad aparente y con ello el porcentaje de vacíos.
- Estabilidad y flujo Marshall: Se utilizó el ensayo Marshall para medir la carga máxima que soportan las probetas (estabilidad) y la deformación correspondiente al momento de la falla (flujo).
- Peso específico (g/cm^3): Determinación volumétrica que complementa el cálculo de los vacíos.
- Vacíos llenos (VFA): Se calculó a partir de la combinación de densidades y el contenido de vacíos totales y de aire, lo que permite entender la compactación de la mezcla.
- Relación Estabilidad/Flujo: Indicador de rigidez; se obtiene dividiendo la estabilidad entre el flujo medido.
- Análisis de costos: Para cada tipo de pavimento (convencional y ecológico), se realizó una aproximación del costo de producción basado en la disponibilidad local de materiales, el transporte, la mano de obra y la infraestructura necesaria.
- Impacto ambiental: Se estimó de manera cualitativa y cuantitativa, considerando la reducción de plástico en el ambiente, la huella de carbono asociada a la producción de asfalto y el potencial de reciclaje.

1.4 PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO

Los valores obtenidos de cada ensayo se analizaron mediante estadística descriptiva y se compararon mediante gráficas y tablas para identificar diferencias significativas entre el pavimento convencional y el ecológico.

1.5 CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE SEGURIDAD

Dado que en esta investigación se manipuló plástico triturado y asfalto caliente, se siguieron normas de seguridad industrial y se garantizó la protección de los operarios con equipo adecuado (guantes, mascarillas, gafas de protección). Además, se procuró que el plástico utilizado proviniese de una fuente claramente identificada y con permisos que avalaran su uso para investigación.

Con este esquema metodológico, se asegura una recolección sistemática de datos que sustenta la comparación entre pavimentos y permite extraer conclusiones sobre la eficiencia mecánica, económica y ambiental de la incorporación de plástico triturado en la mezcla asfáltica.

RESULTADOS

1.6 DISEÑO DE MEZCLAS

En esta sección se muestran las proporciones de agregados, asfalto y aditivo (PET) que conforman los distintos diseños de mezcla, considerando el agregado de la cantera Pampa Azul.

Tabla 1. Diseño de mezclas con inclusión de PET

Materiales para elaboración de briquetas	Pesos de materiales para la elaboración de briquetas			
	PET AL 0%	PET AL 2%	PET AL 5%	PET AL 10%
Cemento asfáltico	69.8 g	69.8 g	69.8 g	69.8 g
Piedra	480.0 g	480.0 g	480.0 g	480.0 g
Arena	708.0 g	708.0 g	708.0 g	708.0 g
Filler	12.0 g	12.0 g	12.0 g	12.0 g
PET	0 g	24.0 g	30.0 g	60.0 g
Total	1269.8 g	1293.8 g	1299.8 g	1329.8 g

Fuente: Elaboración propia.

1.7 PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

Se presentan los resultados de las pruebas realizadas para caracterizar el contenido de vacíos de aire, el peso específico, el V.M.A., los vacíos llenos, flujo, estabilidad y relación Estabilidad / Flujo en cada mezcla de las briquetas fabricadas con porcentajes de cemento asfáltico al: 4.5%, 5.5% y 6.0%.

Tabla 2. Resultados para diferentes porcentajes de cemento asfáltico

Cemento asfáltico	Vacíos de aire (%)	Peso específico (g/cm ³)	V.M.A. (%)	Vacíos llenos (%)	Flujo(mm)	Estabilidad (kg)	E/F (kg/cm)
4.5%	6.1	2.34	14.4	57.73	7.97	2225.43	2810.33
5.5%	4.7	2.34	15	68.9	8.33	2552.7	3067
6.0%	4.13	2.33	15.97	74.17	8.63	2242.73	2607.67

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados mostrados en la Tabla 2 se concluye que respecto al:

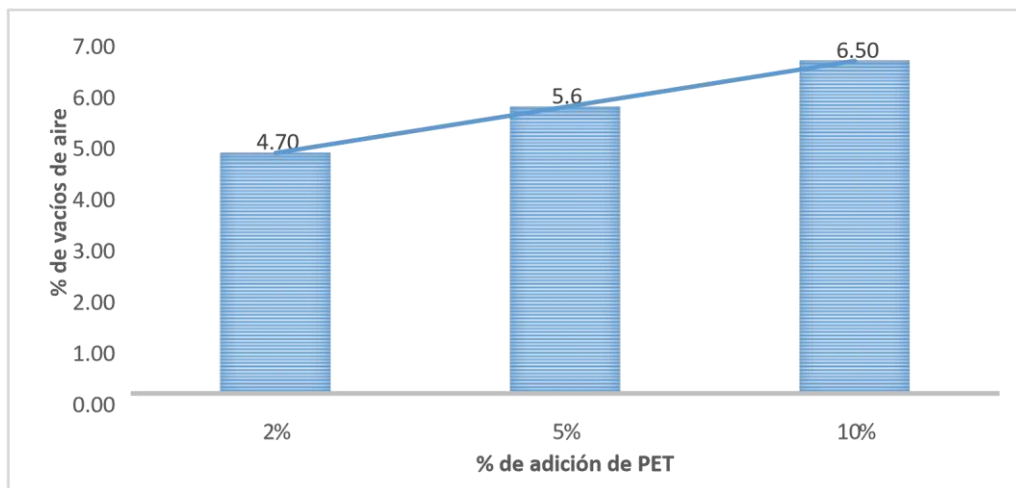
- Vacío de aire, que los porcentajes al 5.5% y 6% cumplen con el rango normativo de 3% a 5%, según [21].
- Peso específico, los 3 porcentajes de cemento asfáltico se encuentran dentro de los rangos establecidos según la norma ASTM D2726.
- V.M.A, todos superan el porcentaje mínimo establecido que es 12%
- Vacíos llenos, tanto el 5.5% y 6% de cemento asfáltico están dentro del rango entre 65% y 75% según [21].
- Flujo, al igual que en la medida anterior, los porcentajes de 5.5% y 6% cumplen con la normativa de flujo cuyo rango permitido está entre 8 y 14 mm.
- En cuanto a la estabilidad, los tres porcentajes de cemento asfáltico superan la estabilidad mínima que es de 815 kg según normativa [22].
- Relación Estabilidad / Flujo, los 3 están dentro de los parámetros de la normativa [22], que esta entre 1750 a 4000 kg/cm.

En base a lo revisado, se concluye que el porcentaje óptimo es con cemento asfáltico en 5.5%.

1.8 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES AL ADICIONAR PET

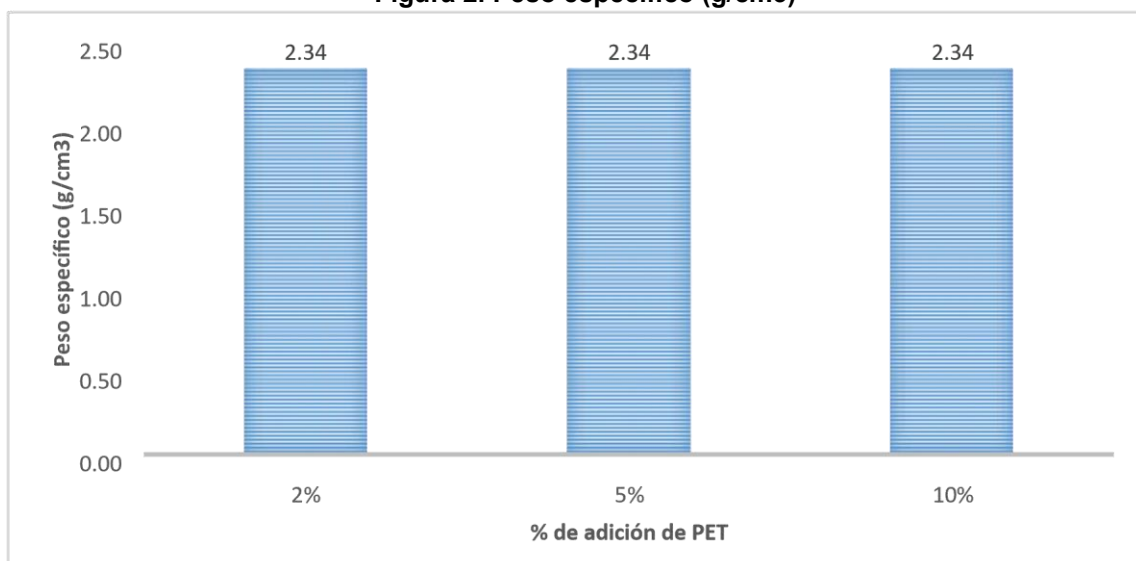
Aquí se fusionan y sintetizan resultados, mostrando la variación porcentual de cada propiedad frente a la mezcla convencional, apoyándose en las Figuras 1-7. Se incluirán discusiones sobre la posible disminución del contenido de vacíos de aire, cambios en la estabilidad e implicaciones en la vida útil del pavimento.

Figura 1. Porcentaje de Vacíos de Aire Fuente: Elaboración propia.



Solo con el 2% de PET se cumple con lo establecido normativamente, es decir que el porcentaje de vacíos se encuentre en un rango de 3% a 5% [21].

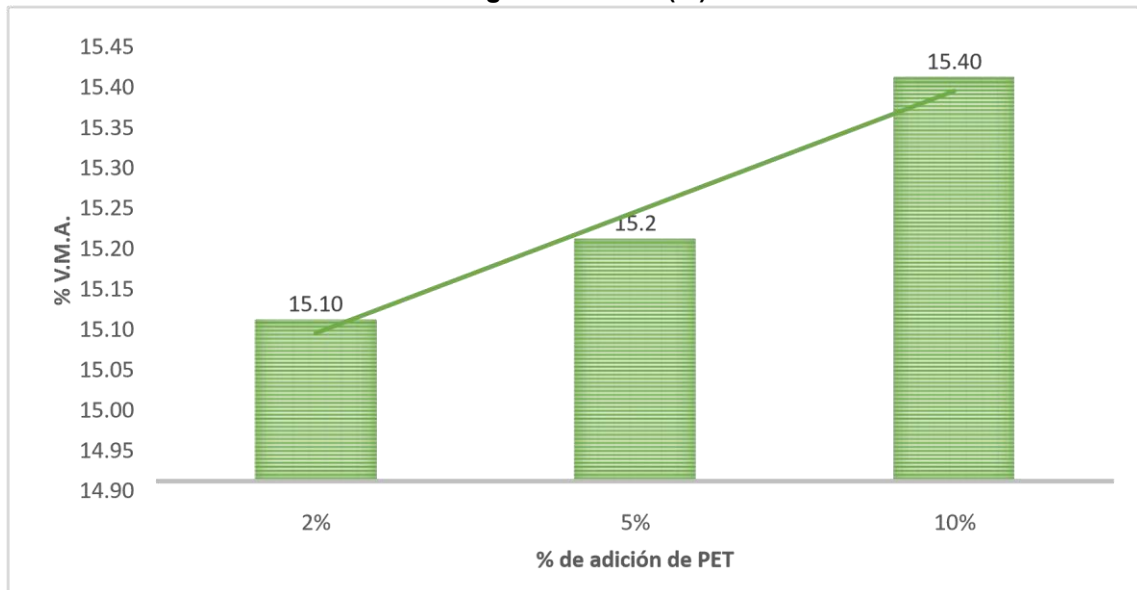
Figura 2. Peso específico (g/cm³)



Fuente: Elaboración propia.

Para los 3 porcentajes el peso específico se mantiene constante y cumplen con lo establecido normativamente.

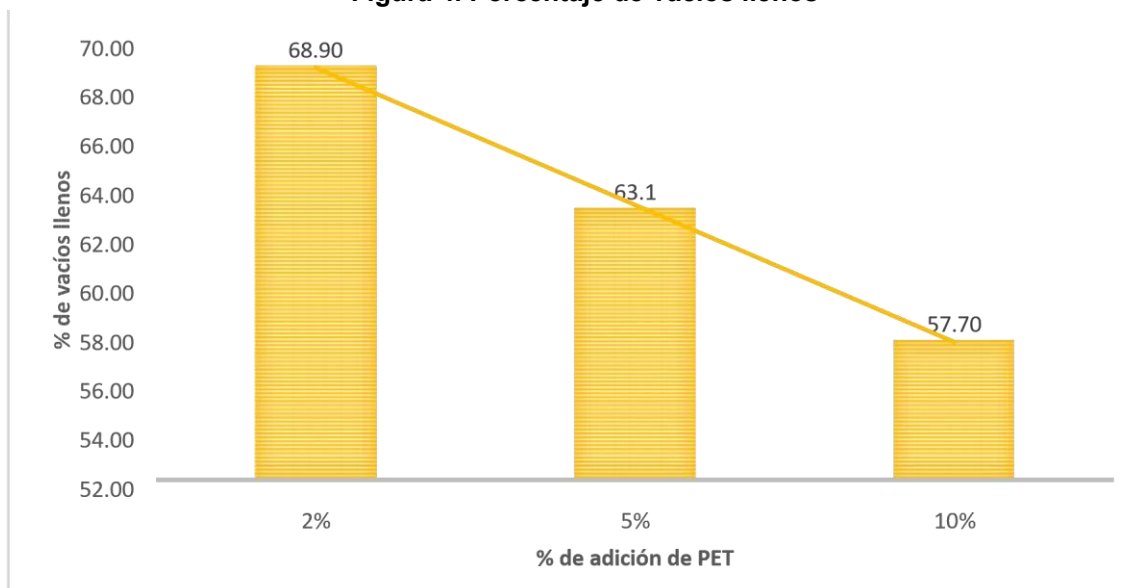
Figura 3. V.M.A. (%)



Fuente: Elaboración propia.

Según [22] el mínimo de V.M.A. es de 12%, por lo que para las 3 diferentes incorporaciones de PET, cumple con este requisito.

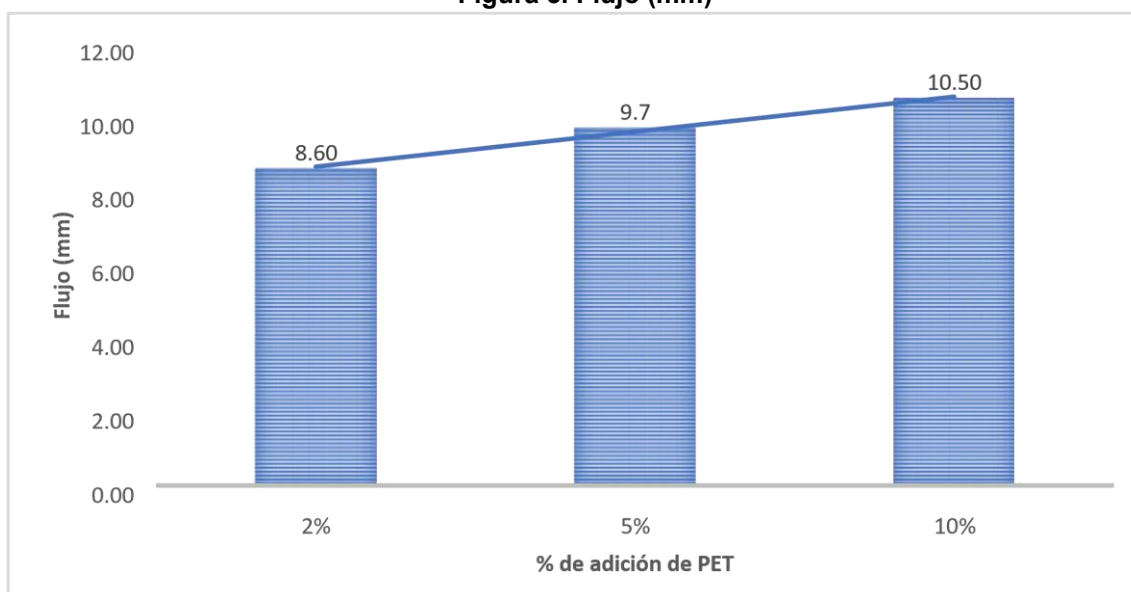
Figura 4. Porcentaje de vacíos llenos



Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de vacíos llenos debe encontrarse entre 65% a 75%, con los resultados vistos en esta gráfica se observa que solo el porcentaje de PET al 2% cumple con este requisito de la normativa [21].

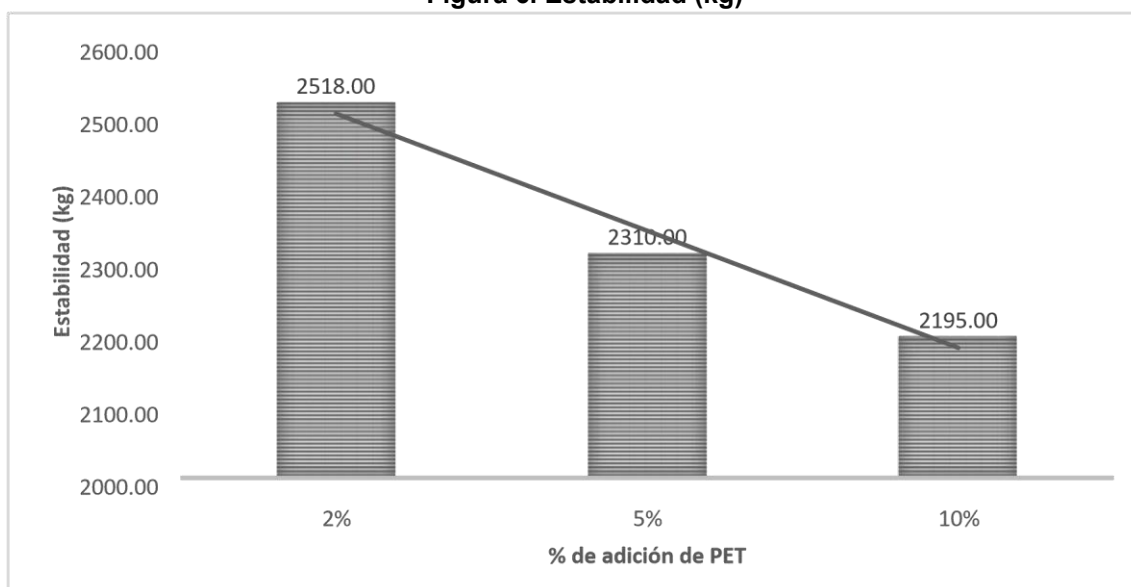
Figura 5. Flujo (mm)



Fuente: Elaboración propia.

El rango es de 8 a 14 mm según [21], por lo cual en los 3 casos se cumple con este requisito.

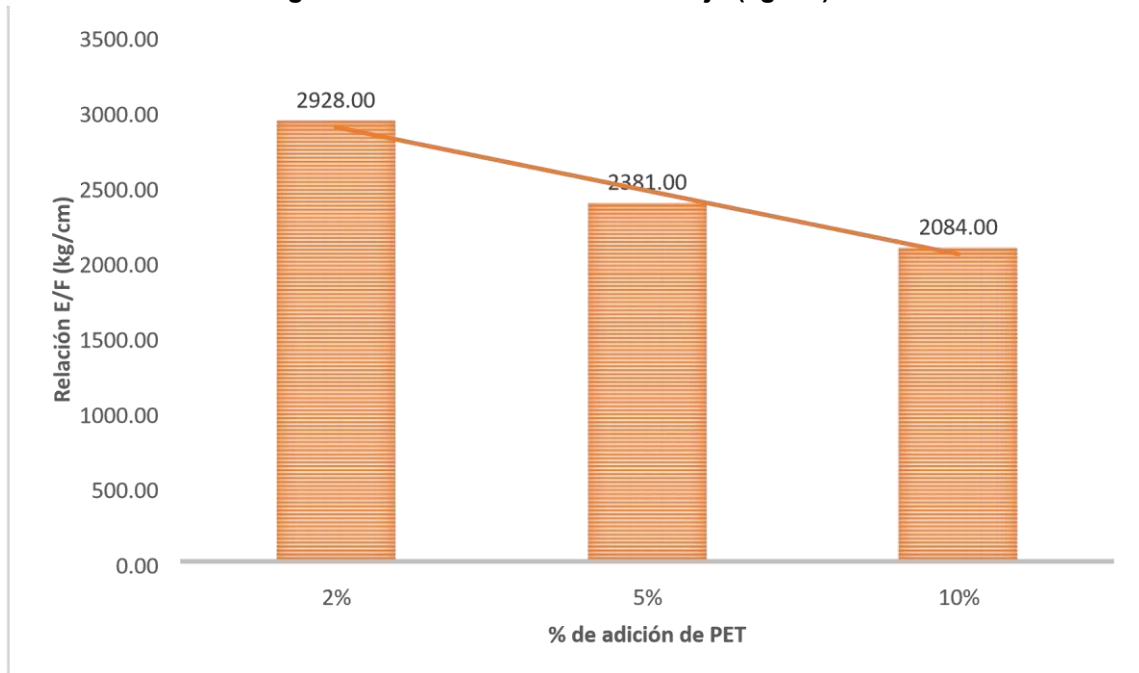
Figura 6. Estabilidad (kg)



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados mostrados se observa que tanto el 2%, 5% y el 10% se encontraban dentro de los rangos establecidos [21], es decir, fueron mayores al mínimo de 815 kg.

Figura 7. Relación Estabilidad / Flujo (kg/cm)



Fuente: Elaboración propia.

La relación indicada en la normativa [22] establece un rango entre 1750 – 4000 kg/cm, por lo que se observa todos cumplen con este requisito.

1.9 ANÁLISIS DE COSTOS

Las Tablas 3–6 ayudara a cuantificar la viabilidad económica. Se indicará si el costo de la mezcla ecológica se ve incrementado o reducido y se mencionarán los posibles ahorros por la reutilización de plástico postconsumo o industrial.

Tabla 3. Análisis de costos para pavimento convencional

Partida	Producción de Mezcla Asfáltica convencional en caliente - PEN 60/70				
Rendimiento	m ² /día				
Costo unitario	468,47				
Mano de obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Oficial	hh	1	0,321	19,23	6,17
Peón	hh	4	0,0964	14,33	5,53
Operario	Hh	1	0.33	22.40	7.39
Sub-Total					14.95

Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Agregado Grueso	m3		0,41	53,25	21,83
Agregado Fino	m3		0,71	42,1	29,89
Cemento asfáltico 60/70	gln		29,17	12,54	365,79
Filler	kg		18,1	0,67	12,13
Sub-Total					429,64
Equipos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Herramientas manuales	%MO		5	2,62	13,10
Camión volquete	hm	1	0,0448	138,25	6,19
Rodillo tándem	hm	1	0,0064	171,21	1,10
Pavimentadora	hm	1	0,0064	200,14	1,28
Cargador frontal	hm	1	0,0321	170,08	5,46
Sub-Total					27,13
Total					471.718

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se mostró el análisis de costo para realizar una mezcla asfáltica convencional, donde se mostró que existió un precio de S/. 471,72 para ser realizado con un cemento asfáltico 60/70.

Tabla 4. Análisis de costos para pavimento ecológico con 2% de PET

Partida	Producción de Mezcla Asfáltica convencional en caliente				
Rendimiento	m ² /día				
Costo unitario	468,48				
Mano de obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Oficial	hh	1	0,321	19,23	6,17
Peón	hh	4	0,0964	14,33	5,53
Operario	Hh	1	0.33	22.40	7.39

Sub-Total					14.95
Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Agregado Grueso	m3		0,41	53,25	21,83
Agregado Fino	m3		0,71	42,1	29,89
Cemento asfáltico 60/70	gln		26.70	12,54	334.82
Filler	kg		18,1	0,67	12,13
PET 2%	kg		0,024	0,85	0,020
Sub-Total					398.688
Equipos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Herramientas manuales	%MO		5	2,62	13,10
Camión volquete	hm	1	0,0448	138,25	6,19
Rodillo tándem	hm	1	0,0064	171,21	1,10
Pavimentadora	hm	1	0,0064	200,14	1,28
Cargador frontal	hm	1	0,0321	170,08	5,46
Sub-Total					27,13
Total					440.765

Fuente: Elaboración propia.

Nota: (PET 2%): El costo de 0.85 S/ por kg incluye la adquisición del PET ya procesado (limpieza, secado y triturado).

En la tabla se mostró el análisis de costo para realizar una mezcla asfáltica ecológica con una adición de 2% de PET, donde se mostró que existió un precio de S/ 440,77 para ser realizado con un cemento asfáltico 60/70.

Tabla 5. Análisis de costos para pavimento ecológico con 5% de PET

Partida	Producción de Mezcla Asfáltica convencional en caliente				
Rendimiento	m ² /día				
Costo unitario	468,49				
Mano de obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial

Oficial	hh	1	0,321	19,23	6,17
Peón	hh	4	0,0964	14,33	5,53
Operario	Hh	1	0.33	22.40	7.39
Sub-Total					14.95
Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Agregado Grueso	m3		0,41	53,25	21,83
Agregado Fino	m3		0,71	42,1	29,89
Cemento asfáltico 60/70	gln		23.97	12,54	300.58
Filler	kg		18,1	0,67	12,13
PET 5%	kg		0,030	0,85	0,026
Sub-Total					364.459
Equipos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Herramientas manuales	%MO		5	2,62	13,10
Camión volquete	hm	1	0,0448	138,25	6,19
Rodillo tándem	hm	1	0,0064	171,21	1,10
Pavimentadora	hm	1	0,0064	200,14	1,28
Cargador frontal	hm	1	0,0321	170,08	5,46
Sub-Total					27,13
Total					406.536

Fuente: Elaboración propia.

Nota: (PET 5%): El costo de 0.85 S/ por kg incluye la adquisición del PET ya procesado (limpieza, secado y triturado).

En la tabla se mostró el análisis de costo para realizar una mezcla asfáltica ecológica con una adición de 5% de PET, donde se mostró que existió un precio de S/ 406,54 para ser realizado con un cemento asfáltico 60/70.

Tabla 6. Análisis de costos para pavimento ecológico con 10% de PET

Partida	Producción de Mezcla Asfáltica convencional en caliente				
Rendimiento	m ² /día				
Costo unitario	468,50				
Mano de obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Oficial	hh	1	0,321	19,23	6,17
Peón	hh	4	0,0964	14,33	5,53
Operario	Hh	1	0.33	22.40	7.39
Sub-Total					14.95
Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Agregado Grueso	m3		0,41	53,25	21,83
Agregado Fino	m3		0,71	42,1	29,89
Cemento asfáltico 60/70	gln		19.80	12,54	248.29
Filler	kg		18,1	0,67	12,13
PET 10%	kg		0,060	0,85	0,051
Sub-Total					312.193
Equipos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Herramientas manuales	%MO		5	2,62	13,10
Camión volquete	hm	1	0,0448	138,25	6,19
Rodillo tandem	hm	1	0,0064	171,21	1,10
Pavimentadora	hm	1	0,0064	200,14	1,28
Cargador frontal	hm	1	0,0321	170,08	5,46
Sub-Total					27,13
Total					354.269

Fuente: Elaboración propia.

Nota: (PET 10%): El costo de 0.85 S/ por kg incluye la adquisición del PET ya procesado (limpieza, secado y triturado).

En la tabla se mostró el análisis de costo para realizar una mezcla asfáltica ecológica con una adición de 10% de PET, donde se mostró que existió un precio de S/ 354.27 para ser realizado con un cemento asfáltico 60/70.

Tabla 7. Resultados de análisis de costo para diferentes % de adición PET

Tipo de Pavimento	Mano de Obra (S/)	Materiales (S/)	Equipos (S/)	Costo Unitario Total (S/)
Convencional	14.95	429.64	27.13	471.72
Ecológico con 2% PET	14.95	398.69	27.13	440.76
Ecológico con 5% PET	14.95	364.46	27.13	406.54
Ecológico con 10% PET	14.95	312.19	27.13	354.27

Fuente: Elaboración propia a partir de Tablas 3-6.

2. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten un análisis integrado de las propiedades mecánicas, volumétricas y económicas de la adición de plástico triturado (PET) a la mezcla asfáltica, así como la selección del porcentaje óptimo de cemento asfáltico (CA). Varios estudios previos (1,2,9) han reportado comportamientos favorables al introducir subproductos plásticos en mezclas asfálticas, mejorando la estabilidad y reduciendo la deformación permanente.

Selección del porcentaje óptimo de cemento asfáltico (5.5 %)

Tras comparar tres contenidos de asfalto (4.5 %, 5.5 % y 6.0 %), se determinó que el 5.5 % satisface las exigencias normativas:

- Vacíos de aire (3 %–5 %): El 5.5 % presenta un 4.7 % de vacíos, dentro del rango permitido [21].
- Peso específico: Se mantiene alrededor de 2.34 g/cm³, cumpliendo los estándares y mostrando estabilidad.
- V.M.A. (>12 %): Con 5.5 % de asfalto, el V.M.A. es de aproximadamente 15 %, reflejando la adecuada capacidad de retención de ligante y densificación.
- Vacíos llenos (65 %–75 %): Tanto el 5.5 % como el 6 % de asfalto cumplen con este parámetro, si bien la elección de 5.5 % resulta en una mejor relación costo-rendimiento.
- Flujo (8–14 mm) y Estabilidad (>815 kg): En el 5.5 % de asfalto, el flujo (8.33 mm) y la estabilidad (2552.7 kg) satisfacen la normativa [22].

- Relación E/F (1750–4000 kg/cm): Los valores obtenidos (3067 kg/cm) confirman un pavimento con capacidad para resistir cargas repetitivas, sin deformaciones excesivas.

Estos hallazgos coinciden con lo observado en investigaciones que sugieren que el contenido óptimo de cemento asfáltico aporta un equilibrio adecuado entre resistencia, durabilidad y costo (1,10).

Efecto de la adición de PET en propiedades volumétricas y mecánicas

Definido el 5.5 % de CA, se evaluaron mezclas con 2 %, 5 % y 10 % de PET, comparándolas con la mezcla convencional (0 %).

- Vacíos de aire: Sólo la mezcla con 2 % de PET conserva un rango (3 %–5 %) que cumple la normativa. A niveles de 5 % y 10 %, el contenido de vacíos se eleva, lo cual podría traducirse en menor durabilidad a largo plazo (9).
- Peso específico: Se mantiene entre 2.33 y 2.34 g/cm³, coincidiendo con reportes de estudios donde el plástico no altera de forma significativa la densidad global (1,5).
- V.M.A.: Todas las variantes superan el 12 % mínimo, indicando que la incorporación de PET no compromete la capacidad de la mezcla para alojar el asfalto. Este hallazgo concuerda con investigaciones de Saha et al. (2) y Rathore y Sharad (6), donde el uso de subproductos plásticos también mantuvo o incrementó el V.M.A.
- Vacíos llenos (65 %–75 %): Únicamente el 2 % de PET cumple con dicho intervalo. Un porcentaje mayor de PET (5 % y 10 %) ocasiona un incremento de los vacíos de aire, lo que reduce el porcentaje de vacíos llenos y podría favorecer la infiltración de agua.
- Flujo (8–14 mm) y Estabilidad (>815 kg): Los tres porcentajes de PET satisfacen las especificaciones de fluencia y superan los 815 kg de estabilidad. Este resultado confirma la viabilidad mecánica del PET en distintos niveles, tal como lo reportan otras experiencias (1,3).
- Relación Estabilidad/Flujo (1750–4000 kg/cm): Todas las mezclas se sitúan dentro de la franja establecida, lo que evidencia una rigidez adecuada.
- Con base en estos indicadores, la mezcla con 2 % de PET es la más prometedora, ya que mantiene parámetros fundamentales (vacíos de aire, vacíos llenos y estabilidad) alineados con la normativa y con buena perspectiva de desempeño a largo plazo.

Implicaciones en la durabilidad del pavimento

El contenido de vacíos es clave para la vida útil de los pavimentos. Un valor excesivo favorece la infiltración de agua y la pérdida de ligante, incrementando

el riesgo de fallas prematuras (5). Por otro lado, valores muy bajos podrían indicar mezclas propensas a deformaciones permanentes a altas temperaturas.

- La adición de 2 % de PET parece ofrecer un compromiso favorable: cumple con el rango óptimo de vacíos de aire (3 %–5 %) y mantiene una alta estabilidad.
- Con mayores porcentajes de PET (5 % y 10 %), pese a que la estabilidad se conserva por encima del mínimo, un exceso de vacíos podría acelerar el deterioro por humedad o fatiga.

Costos y beneficios económicos

El análisis comparativo mostró variaciones de costos unitarios (S/ 471.72 para la mezcla convencional y S/ 440.76, S/ 406.54 y S/ 354.27 con 2 %, 5 % y 10 % de PET, respectivamente). Esta diferencia hace viable la adopción de mezclas con PET desde la perspectiva financiera, alineándose con la tendencia de otras investigaciones que señalan que la principal ventaja económica del uso de plásticos estriba en la disminución de costos en acopio de agregados y, potencialmente, en la prolongación de la vida útil del pavimento (6,13). Además, la reutilización de PET aporta beneficios ambientales, dado que reduce la contaminación por residuos plásticos y alivia la presión en rellenos sanitarios (3). Aunque no se efectúa aquí un análisis de ciclo de vida completo, otras investigaciones (14,15) evidencian que dichas prácticas pueden resultar en menor huella de carbono, siempre que el proceso de recolección y procesado del PET sea eficiente.

3. CONCLUSIONES

A partir de los ensayos realizados y los análisis comparativos entre un pavimento convencional y un pavimento ecológico con plástico triturado (PET), se llega a las siguientes conclusiones:

Porcentaje óptimo de cemento asfáltico (CA) en 5.5 %

- Se determinó que con 5.5 % de CA se cumplen los parámetros normativos en cuanto a vacíos de aire, estabilidad, flujo y relación Estabilidad/Flujo, presentándose un equilibrio entre resistencia mecánica y durabilidad.
- El valor de vacíos de aire (4.7 %) y vacíos llenos (68.9 %) favorece la compactación y disminuye el riesgo de infiltración de agua.

Efecto de la adición de PET sobre las propiedades mecánicas y volumétricas

- Únicamente la mezcla con 2 % de PET logró mantener el porcentaje de vacíos de aire dentro del rango normativo (3 %–5 %), con un valor de 4.7 %. Las mezclas con 5 % y 10 % presentaron niveles superiores, lo que podría comprometer su durabilidad a largo plazo debido a mayor susceptibilidad a infiltración de agua y deterioro por fatiga.
- Independientemente del porcentaje de PET, todas las mezclas superaron los valores mínimos exigidos de estabilidad (815 kg), flujo (8–14 mm) y relación estabilidad/flujo (1750–4000 kg/cm), según normativa vigente. Esto demuestra que la incorporación del aditivo no debilita la resistencia inmediata del pavimento.
- El peso específico y el V.M.A. se mantuvieron dentro de rangos normativos en todas las mezclas analizadas. Esto indica que el PET, en los porcentajes evaluados, no afecta significativamente la densidad ni la capacidad de la mezcla para alojar el cemento asfáltico.

Viabilidad económica y potencial ambiental

- El análisis de costos reveló diferencias entre la mezcla convencional y las ecológicas (S/ 471.72 vs. S/ 440.76–354.27), confirmando la viabilidad económica de incorporar PET.
- La reutilización de PET promueve la economía circular, reduciendo los desechos plásticos y el impacto ambiental asociado al consumo de materiales vírgenes.
- El uso de PET reciclado en mezclas asfálticas no solo presenta ventajas mecánicas, sino que también reduce la huella de carbono y fomenta la valorización de residuos plásticos. Según los resultados obtenidos, la adición de 2% PET mantiene una adecuada proporción de vacíos de aire (3%-5%), asegurando la cohesión y resistencia de la mezcla, Olarte [18]

estima una reducción de 8-12% en la huella de carbono, en línea con estudios previos que señalan que el reciclaje de PET disminuye la demanda de materiales vírgenes y contribuye al desvío de 4-6 kg de plástico por tonelada de mezcla producida.

4. REFERENCIAS

- [1] Abu, A. and S. Jung (2020). "Investigation of reinforcing flexible pavements with waste plastic fibers in Ras Al Khaimah, UAE." *Road Materials and Pavement Design*, 21(6), pp. 1753–1762.
DOI:10.1080/14680629.2019.1566086.
- [2] Amaro, Z. and P. Capcha (2021). Diseño de pavimento flexible ambientalmente sostenible con subrasante estabilizada mediante la adición de caucho triturado según AASHTO-93 en el tramo Kimbiri Capital – C.P. Kimbiri Alto. [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio institucional Ricardo Palma: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4726>.
- [3] Arias, J., J. Holgado, T. Tafur, and M. Vasquez (2022). Metodología de la Investigación. En:
https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/3109/1/2022_Metodologia_de_la_investigacion_El_metodo_%20ARIAS.pdf.
- [4] Arias, J. and M. Covinos (2021). Diseño y metodología de la investigación. *Enfoques Consulting EIRL*. <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2260>.
- [5] ASTM International. (s.f.). ASTM D6926: Preparación de probetas de mezcla asfáltica compactadas mediante compactador giratorio Superpave (SGC).
- [6] ASTM International. (s.f.). ASTM D6927: Método de prueba estándar para la determinación de la resistencia Marshall de mezclas asfálticas.
- [7] Contreras, J. and J. Rios (2022). Análisis comparativo de la estabilidad marshall de un pavimento convencional y un pavimento modificado con material reciclable. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte: <https://hdl.handle.net/11537/32381>.
- [8] Gao, S., H. Chu, W. Shi, F. Wang, and J. Jiang (2024). "Utilization of municipal solid waste incineration fly ash in ecological concrete and pavement bricks:

- Mechanical properties and environmental impact." *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, e03999. DOI:10.1016/j.cscm.2024.e03999.
- [9] Gschösser, F., H. Wallbaum, and M. E. Boesch (2012). "Hidden Ecological Potentials in the Production of Materials for Swiss Road Pavements." *Journal of Management in Engineering*, vol. 28, no. 1, pp. 13–21. DOI:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000077.
- [10] Hernández, R. and C. Mendoza (2018). Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta. *Mc Graw Hill educación*.
<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>.
- [11] Hernández, R., C. Fernández, and P. Baptista (2018). Metodología de la investigación. McGrawHill.
<https://www.icmujeres.gob.mx/wpcontent/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>.
- [12] Maita, A. and R. Miranda (2023). Diseño de mezcla asfáltica con caucho y plástico reciclado como alternativa de rentabilidad en San José de los Molinos, Ica, 2022. [Tesis de grado, Universidad Privada San Juan Bautista]. Repositorio Universidad Privada San Juan Bautista:
<https://hdl.handle.net/20.500.14308/4798>.
- [13] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima, Perú: MTC, 2016.
- [14] Olarte, C. (2020). Análisis comparativo del diseño de pavimento empleando mezcla asfáltica convencional y con adición de caucho reciclado A.v Santa Ana Comas. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/76292>.
- [15] Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2021). Informe de la ONU sobre la contaminación. ONU Programa para el medio ambiente.
<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-deprensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>.
- [16] Rathore, H. and S. Sharad (2023). "A comprehensive analysis of warm mix Asphalt with additives and RTFOT-modified Bitumen." *Journal of Integrated Science and Technology*, vol. 12, no. 1.
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85171979492&origin=resultslist&sort=plff&src=s&sid=f9188e6f631a9e49b3b4382b85894ab0&sot=b&sdt=b&cluster=scosubjabbr,%22ENGI%22,%2Bscosubtype,%22ar%22>.
- [17] Saha, P., S. Kumar, and S. D. (2020). "Performance characteristic evaluation of asphalt mixes with plastic coated aggregates." *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 45, pp. 793–803. DOI:10.1007/978-981-32-90426_63.

- [18] Tejada, N. (2022). Diseño de una mezcla asfáltica ecológica usando polietileno de tereftalato (PET) reciclado y caucho molido. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio USS: <https://hdl.handle.net/20.500.12802/10270>.
- [19] Vizcarra, C. (2020). Evaluación de un modelo mejorado de capa asfáltica mediante el uso de plástico reciclado en Arequipa. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11110>.
- [20] Zhou, L., G. Shen, T. Woodfin, T. Chen, and K. Song (2017). "Ecological and economic impacts of green roofs and permeable pavements at the city level: the case of Corvallis, Oregon." *Journal of Environmental Planning and Management*, pp. 1–19. DOI:10.1080/09640568.2017.1314859.
- [21] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Perú: MTC. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html.
- [22] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *CE-010 Pavimentos Urbanos*. Lima, Perú. https://cdnweb.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05_CE/Pavimentos_Urbanos.pdf

Anexo. Evidencias fotográficas



Ilustración 1. Gravedad específica de la mezcla asfáltica patrón



Ilustración 2. Desmolde de briquetas patrón



Ilustración 3. Desmolde de briquetas patrón con diferentes C.A.



Ilustración 4. Moldeo de briquetas

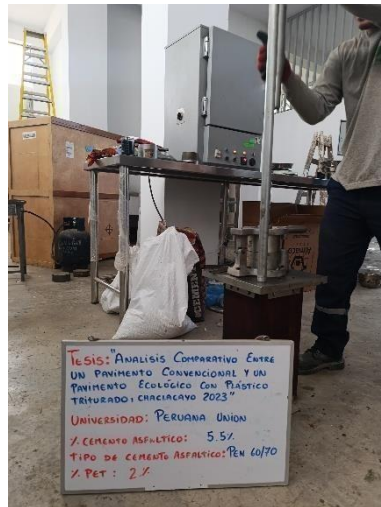


Ilustración 5. Compactación de briquetas



Ilustración 6. Baño maría para briquetas de 5.5%

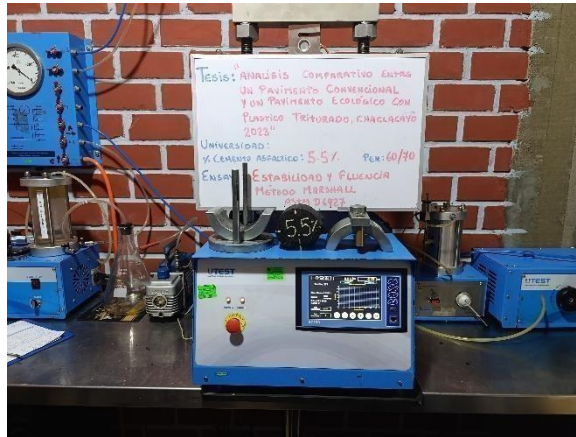


Ilustración 7. Briquetas antes de ensayarse mediante Marshall

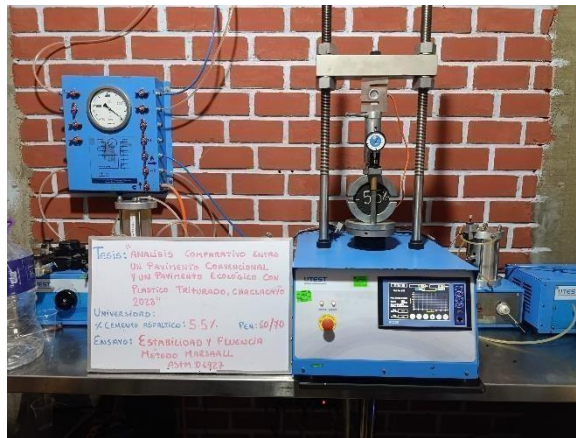


Ilustración 8. Ensayo Marshall para briquetas

INFORME DE ENSAYO GEO-483

**ENSAYO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 - ASTM D-6927)**

PROYECTO : ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN PAVIMENTO CONVENCIONAL Y UN PAVIMENTO ECOLÓGICO CON PLÁSTICO TRITURADO, CHACLACAYO - 2023 Fecha de Muestreo : NO INDICA

SOLICITANTE : BODGER KEVIN AIRE LÓPEZ / JOSÉ CARLOS CARPIO RODRÍGUEZ Fecha de Recepción : 25/08/2024

CONTACTO : kevin aire@upeu.edu.pe Fecha de Emisión : 02/10/2024 - 04/10/2024

UBICACIÓN : CHACLACAYO - LIMA Fecha de Emisión : 10/10/2024

IDENTIFICACIÓN : Óptimo contenido de Asfalto (5.50 %) con 2 % de PET

MEZCLA DE AGREGADOS : **MUESTRA : Cant. Pampa Azul**

Piedra Triturada 3/4" Tmax : 40 % Cant. Pampa Azul

Arena Triturada : 58 % Cant. Pampa Azul

Arena Natural : 0 %

Cemento : 1 %

T. Máximo : 3/4 pulg

LIGANTE BITUMINOSO

TIPO DE ASFALTO : Sólido

CLASIFICACIÓN : PEN 60/70

ÓPTIMO CONT. ASFALTO : 5.5

TEMP. DE MEZCLA (°C) : 145

MEJORADOR ADHERENC : -

CARACTERÍSTICAS MÉTODO MARSHALL			
N° DE GOLPES			75
CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO (%)			5.5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTM D 1188)			2.344
ESTABILIDAD (kg) (ASTM D 6927)			2,403
FLUJO (mm) (ASTM D 6927)			8.6
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTM D 3203)			4.7
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTM D 6926)			15.1
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTM D 6926)			68.9
ESTABILIDAD / FLUJO (kg/cm) (ASTM D 6927)			2,794
TEMPERATURA DE ROTURA (°C)			60.0

OBSERVACIONES:

- La granulometría de la mezcla de los agregados cumple el uso granulométrico "MAC-2", según Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013
- Asfalto sólido PEN PLUS 60/70 ESTANDAR proporcionado por Solicitante.
- Muestras de agregados tomadas e identificadas por el SOLICITANTE.

ENSAYOS REALIZADOS POR:

- Razón Social: JR GEOCONSULTORES PERÚ S.R.L.
- RUC: 20610633049
- Dirección: Urb. Las Begonias 2da. Etapa Mz. B Lt. 16 - San Martín de Porres


Remel Díaz Alvarado
 Ingeniero Civil
 Registro CIP 334809

Ilustración 9. Datos de optimo contenido de asfalto (5.5%) con PET 2%

INFORME DE ENSAYO GEO-483

**ENSAYO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 - ASTM D-6927)**

PROYECTO : ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN PAVIMENTO CONVENCIONAL Y UN PAVIMENTO ECOLÓGICO CON PLÁSTICO TRITURADO, CHACLACAYO - 2023 Fecha de Muestreo : NO INDICA

SOLICITANTE : BODGER KEVIN AIRE LÓPEZ / JOSÉ CARLOS CARPIO RODRÍGUEZ Fecha de Recepción : 25/08/2024

CONTACTO : kevinaire@upeu.edu.pe Fecha de Emisión : 02/10/2024 - 04/10/2024

UBICACIÓN : CHACLACAYO - LIMA Fecha de Emisión : 10/10/2024

IDENTIFICACIÓN : Óptimo contenido de Asfalto (5.50 %) con 5 % de PET

MEZCLA DE AGREGADOS

MUESTRA : Cant. Pampa Azul

Piedra Triturada 3/4" T_{max} : 40 % Cant. Pampa Azul

Arena Triturada : 58 % Cant. Pampa Azul

Arena Natural : 0 %

Cemento : 1 %

T. Máximo : 3/4 pulg

LIGANTE BITUMINOSO

TIPO DE ASFALTO : Sólido

CLASIFICACIÓN : PEN 60/70

ÓPTIMO CONT. ASFALTO : 5.5

TEMP. DE MEZCLA (°C) : 145

MEJORADOR ADHERENC :

CARACTERÍSTICAS MÉTODO MARSHALL

Nº DE GOLPES		75
CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO (%)		5.5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTM D 1188)		2.341
ESTABILIDAD (kgf) (ASTM D 6927)		2,310
FLUJO (mm) (ASTM D 6927)		9.7
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTM D 3203)		5.6
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTM D 6926)		15.2
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTM D 6926)		63.1
ESTABILIDAD / FLUJO (kg/cm) (ASTM D 6927)		2,381
TEMPERATURA DE ROTURA (°C)		60.0

OBSERVACIONES:

- La granulometría de la mezcla de los agregados cumple el uso granulométrico "MAC-2", según Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013
- Asfalto sólido PEN PLUS 60/70 ESTANDAR proporcionado por Solicitante.
- Muestras de agregados tomadas e identificadas por el SOLICITANTE.

ENSAYOS REALIZADOS POR:

- Razón Social: JR GEOCONSULTORES PERU S.R.L.
- RUC: 20610633049
- Dirección: Urb. Las Begonias 2da. Etapa Mz. B Lt. 16 - San Martín de Porres


Regiel Diaz Alvarado
Ingeniero Civil
Registro CIP 334809

974 393 665

geoperusrl@gmail.com

Urb. Las Begonias 2da. Etapa Mz. B Lt. 16, Lima, Peru

Ilustración 10. Datos de optimo contenido de asfalto (5.5%) con PET 5%

INFORME DE ENSAYO GEO-483

**ENSAYO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 - ASTM D-6927)**

PROYECTO : ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN PAVIMENTO CONVENCIONAL Y UN PAVIMENTO ECOLÓGICO CON PLÁSTICO TRITURADO, CHACLACAYO - 2023 Fecha de Muestreo : NO INDICA
 SOLICITANTE : BODGER KEVIN AIRE LÓPEZ / JOSÉ CARLOS CARPIO RODRÍGUEZ Fecha de Recepción : 25/08/2024
 CONTACTO : kevinair@upeu.edu.pe Fecha de Emisión : 02/10/2024 - 04/10/2024
 UBICACIÓN : CHACLACAYO - LIMA Fecha de Emisión : 10/10/2024

IDENTIFICACIÓN : Óptimo contenido de Asfalto (5.50 %) con 10 % de PET
 MEZCLA DE AGREGADOS : **LIGANTE BITUMINOSO**
 MUESTRA : Cant. Pampa Azul TIPO DE ASFALTO : Sólido
 Piedra Triturada 3/4" T_{max} : 40 % Cant. Pampa Azul CLASIFICACIÓN : PEN 60/70
 Arena Triturada : 58 % Cant. Pampa Azul ÓPTIMO CONT. ASFALTO : 5.5
 Arena Natural : 0 % TEMP. DE MEZCLA (°C) : 145
 Cemento : 1 % MEJORADOR ADHERENC : -
 T. Máximo : 3/4 pulg

CARACTERÍSTICAS MÉTODO MARSHALL			
Nº DE GOLPES			75
CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO (%)			5.5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTM D 1188)			2.336
ESTABILIDAD (kg) (ASTM D 6927)			2,195
FLUJO (mm) (ASTM D 6927)			10.5
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTM D 3203)			6.5
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTM D 6926)			15.4
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTM D 6926)			57.7
ESTABILIDAD / FLUJO (kg/cm) (ASTM D 6927)			2,084
TEMPERATURA DE ROTURA (°C)			60.0

OBSERVACIONES:

- La granulometría de la mezcla de los agregados cumple el uso granulométrico "MAC-2", según Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013
- Asfalto sólido PEN PLUS 60/70 ESTANDAR proporcionado por Solicitante.
- Muestras de agregados tomadas e identificadas por el SOLICITANTE.

ENSAYOS REALIZADOS POR:

- Razón Social: JR GEOCONSULTORES PERU S.R.L.
- RUC: 20610633049
- Dirección: Urb. Las Begonias 2da. Etapa Mz. B Lt. 16 - San Martín de Porres


Rogel Díaz Alvarado
 Ingeniero Civil
 Registro CIP 334809

974 393 665

geoperusr@gmail.com

Urb. Las Begonias 2da. Etapa Mz. B Lt. 16, Lima, Peru

Ilustración 11. Datos de optimo contenido de asfalto (5.5%) con PET 10%

Ficha Técnica PET

Material termoplástico obtenido del reciclaje post-consumo de botellas y envases de PET, procesado mediante trituración, lavado en caliente y secado para producir hojuelas limpias y homogéneas, listas para su reincorporación en nuevos procesos productivos.

Característica	Detalle / Valor Típico	Observaciones / Estándares
Nombre del Material	Hojuelas de Tereftalato de Polietileno Reciclado (rPET Flakes)	También conocido como escamas de PET post-consumo.
Código de Reciclaje	1	Identificación estándar para el reciclaje de PET.
Descripción	Material termoplástico procesado a partir de PET post-consumo.	Hojuelas limpias y homogéneas, listas para reincorporación industrial.
Estado Físico	Sólido	Hojuelas / Escamas.
Color	Transparente, Verde, Azul, Mixto	El transparente es el más valorado para ciertas aplicaciones.
Olor	Inodoro	En condiciones limpias y secas.
Densidad Aparente	0.25 - 0.50 g/cm ³	Puede variar ligeramente según el tamaño de la hojuela.
Punto de Fusión (Tm)	245 - 265 °C	Temperatura a la que el material se vuelve líquido.
Temp. Transición Vítre (Tg)	70 - 80 °C	Temperatura a la que el material pasa de rígido a maleable.
Viscosidad Intrínseca (IV)	0.60 - 0.75 dl/g	Medida de la longitud de la cadena polimérica; crucial para el reprocesamiento.
Contenido de Humedad	≤ 0.5% (ideal ≤0.1%)	Fundamental para evitar la degradación hidrolítica durante el procesamiento.
Resistencia a la Tracción	Alta	Propiedad importante para la durabilidad del producto final.
Rigidez	Buena	Contribuye a la estabilidad estructural.
Transparencia	Alta (para hojuelas transparentes)	Permite el uso en envases donde la visibilidad es clave.
Resistencia Química	Buena a ácidos diluidos, bases y disolventes orgánicos.	Indicador de durabilidad frente a diversos agentes químicos.
Resistencia al Impacto	Buena	Capacidad de soportar golpes y caídas sin fracturarse.

Ilustración 12. Ficha técnica de material PET

Contenido de PET	≥ 99.5%	Pureza mínima esperada del material.
Impurezas (Poliolefinas)	≤ 100 ppm	HDPE, LDPE, PP (contaminantes comunes).
Impurezas (PVC)	≤ 50 ppm	El PVC es un contaminante crítico debido a sus diferentes propiedades de procesamiento.
Impurezas (Metales)	≤ 20 ppm	Hierro (Fe), Aluminio (Al), Cobre (Cu), etc.
Otros Contaminantes	≤ 50 ppm	Papel, arena, vidrio, etc.
Tamaño de Hojuela	8 - 14 mm	Puede especificarse según el equipo de procesamiento del cliente.
Embalaje Típico	Sacos grandes (Big Bags) de 1,000 - 1,200 kg o sacos de 25 kg.	Asegura un manejo y transporte eficientes.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco, protegido de la luz solar y la humedad.	Vital para mantener la calidad del material y evitar la degradación.
Reciclabilidad	100% Reciclable	Contribuye a la economía circular y la sostenibilidad.
Toxicidad	No tóxico en condiciones normales de uso.	Seguro para manipular siguiendo buenas prácticas de higiene y seguridad.
Manejo Recomendado	Evitar inhalación de polvo; usar EPP si es necesario.	Precauciones estándar para la manipulación de materiales granulados.
Aplicaciones Clave	Nuevas botellas, fibras textiles, láminas, flejes, automoción.	Diversidad de usos en diversas industrias, impulsando la sostenibilidad.

Ilustración 13. Ficha técnica de material PET