

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**Caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) como adiciones en la  
fabricación de adoquines peatonales, Arequipa - año 2024**

Tesis presentada por los Bachilleres:

**Pinto Verastegui, Adbeel Patrick**

**ORCID: 0009-0003-5768-4634**

**Choque Pereyra, Nelson Daniel**

**ORCID: 0009-0008-3240-8920**

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Asesor:**

**Mg. Montoya Villanueva, Filiberto Rody**

**ORCID: 0000-0002-0692-1762**

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA CIVIL**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 08 de Octubre del 2025

**Dictamen: 012025-C-EPIC-2025**

Visto el borrador del expediente 012025, presentado por:

**2017247881 - PINTO VERASTEGUI ADBEEL PATRICK**

**2015130141 - CHOQUE PEREYRA NELSON DANIEL**

Titulado:

**CAUCHO RECICLADO Y TEREFALATO DE POLIETILENO (PET) COMO ADICIONES EN LA  
FABRICACIÓN DE ADOQUINES PEATONALES, AREQUIPA - AÑO 2024**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO CIVIL**

**29412437 - UGARTE CALDERON ENRIQUE ALFONSO  
DICTAMINADOR**



**46735424 - LOAYZA RODRIGUEZ JOSE GERMAN  
DICTAMINADOR**



**71256920 - TORRES ALMIRON JENIFFER CARLA  
DICTAMINADOR**



# Caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) como adiciones en la fabricación de adoquines peatonales, Arequipa - año 2024

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego 2025 Trabajo del estudiante	2%
3	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
6	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1%

[repositorio.upao.edu.pe](https://repositorio.upao.edu.pe)

## **DEDICATORIA**

A mi abuelita, por despertarse antes que el sol para preparar mis días. Por cuidarme con ese amor que no se dice, pero se siente en el silencio de una comida caliente, en una oración al amanecer, en una mirada que siempre supo cuándo estaba bien y cuándo no. Si hoy llego hasta aquí, es porque tú me llevaste en tus manos cuando ni siquiera sabía caminar este camino.

A mi tía, por regalarme su juventud, su tiempo, su paciencia. Por enseñarme con el ejemplo que la entrega no necesita títulos ni aplausos, solo un corazón grande. Gracias por acompañarme, por corregirme con cariño y por celebrar mis logros como si fueran tuyos.

A mis padres, por enseñarme desde temprano que el amor también se demuestra con esfuerzo, con lucha diaria, con decisiones difíciles hechas con el corazón. Aunque muchas veces los caminos no nos cruzaban todo el tiempo, yo siempre sentí su presencia, su orgullo, su amor. Nunca me sentí lejos de ustedes, porque su sacrificio me alcanzó en cada paso.

A ustedes cuatro, que me formaron no solo como profesional, sino como persona, les dedico este trabajo con todo lo que soy y todo lo que algún día espero llegar a ser. Gracias por no soltarme nunca. Este logro es tan mío como de ustedes

Y a ese niño que un día soñó con ser ingeniero sin saber exactamente qué significaba. Hoy, al mirarte de lejos, solo puedo decirte: lo lograste. Todo valió la pena.

***Adbeel Patrick Pinto Verástegui***

A mis queridos padres, Daniel y Balbina, quienes con su amor, sabiduría y sacrificio me han dado todo lo necesario para alcanzar mis sueños. Su apoyo incondicional ha sido la base de este logro.

A mi amada esposa Nataly, por su paciencia, comprensión y constante aliento, siempre a mi lado en cada paso. A mi hijo Joaquín, fuente de mi inspiración y alegría, que me recuerda todos los días el verdadero significado de la vida. Esta tesis es el reflejo del esfuerzo y amor de cada uno de ustedes. Gracias por ser mi motor y mi razón.

***Nelson Daniel Choque Pereyra***

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo representa mucho más que la culminación de una etapa académica; es el reflejo de una historia compartida, de raíces firmes y de afectos que han sostenido cada uno de mis pasos. A Dios, por acompañarme en silencio y por recordarme, en los momentos simples, que todo tiene un propósito. A mi abuelita, por ser guía y refugio. Tus gestos diarios, tu sabiduría sin palabras, tu presencia constante... todo eso me enseñó que el amor verdadero se demuestra más con hechos que con discursos. Gracias por enseñarme a ser fuerte sin dejar de ser bueno. A mi tía, por estar ahí desde siempre. Por tus palabras justas, por tu apoyo incondicional, por cada vez que tuviste fe en mí incluso cuando yo dudaba. Tu entrega ha sido una luz constante en mi vida.

A mis padres, que no solo me dieron la vida, sino también el ejemplo más honesto de esfuerzo y responsabilidad. Gracias, papá, por tu temple, por tu forma de enseñarme que lo que se hace con integridad siempre deja huella. Gracias, mamá, por tu sensibilidad, por demostrarme que se puede ser fuerte y amorosa al mismo tiempo. Sé que no fue fácil estar lejos a veces, pero nunca sentí su ausencia, porque su amor encontró todas las formas posibles de llegar. Gracias por enseñarme que los sueños también se construyen trabajando en silencio, con fe y con esperanza. Todo lo que soy se apoya en lo que ustedes son.

A mis profesores, por su vocación, por exigir lo mejor de mí y por hacerme entender que la ingeniería no se trata solo de cálculos, sino también de compromiso con la sociedad. A mis amigos y compañeros, por su compañía honesta y por los momentos compartidos que hicieron este camino más llevadero y también más alegre. A cada experiencia profesional, a cada jornada en obra, a cada error del que aprendí y a cada logro pequeño que me acercó un poco más a este momento.

*Adbeel Patrick Pinto Verástegui*

Agradezco profundamente a Dios, fuente inagotable de sabiduría y fortaleza, por guiarme en cada paso de este camino. Sin su bendición, este logro no habría sido posible. A mi familia, por su apoyo incondicional, amor y paciencia. A mis padres, quienes con su ejemplo y dedicación me han enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mi esposa, por su amor constante y su incansable apoyo, y a mi hijo, que es mi mayor motivación. Este trabajo es el resultado del esfuerzo de todos ustedes, y a cada uno le debo mi más sincero agradecimiento.

*Nelson Daniel Choque Pereyra*

## RESUMEN

El presente estudio analiza el uso de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) como adiciones en la fabricación de adoquines peatonales, evaluando sus propiedades físico-mecánicas en la ciudad de Arequipa en el año 2024. La investigación surge ante la necesidad de reducir el impacto ambiental generado por estos residuos y promover alternativas sostenibles en la industria de la construcción. Se desarrollaron distintas mezclas experimentales con diferentes porcentajes de caucho y PET, las cuales fueron sometidas a pruebas de resistencia a la compresión para comparar su desempeño con los adoquines convencionales.

Los resultados obtenidos evidenciaron que la incorporación de caucho y PET influye en las propiedades mecánicas de los adoquines, observándose una variación en la resistencia a la compresión en función del porcentaje de adición. No obstante, ciertas combinaciones demostraron un balance adecuado para la resistencia a la compresión, indicando que es viable la inclusión de estos materiales reciclados en la fabricación de adoquines con un adecuado control en su dosificación.

A partir de estos hallazgos, se concluye que el uso de caucho reciclado y PET en la producción de adoquines peatonales representa una alternativa ecológica con potencial para reducir la contaminación y fomentar la economía circular en la construcción. Se recomienda realizar estudios adicionales a largo plazo para evaluar el comportamiento de los adoquines en condiciones reales de uso y optimizar las proporciones de los materiales reciclados con el fin de maximizar su resistencia y durabilidad.

**Palabras clave:** PET, Caucho reciclado, Adoquines.

## ABSTRACT

This study analyzes the use of recycled rubber and polyethylene terephthalate (PET) as additives in the manufacture of pedestrian paving stones, evaluating their physical-mechanical properties in the city of Arequipa in 2024. The research arises from the need to reduce the environmental impact generated by these wastes and promote sustainable alternatives in the construction industry. Different experimental mixtures were developed with different percentages of rubber and PET, which were subjected to tests of flexural strength, breaking load and total water absorption to compare their performance with conventional paving stones.

The results showed that the incorporation of rubber and PET influences the mechanical properties of the paving stones, with a variation in compressive strength observed depending on the percentage added. However, certain combinations demonstrated a suitable balance for compressive strength, indicating that the inclusion of these recycled materials in paving stone manufacturing is viable with proper dosage control.

Based on these findings, it is concluded that the use of recycled rubber and PET in the production of pedestrian paving stones represents an ecological alternative with the potential to reduce pollution and promote the circular economy in construction. Additional long-term studies are recommended to evaluate the behavior of the paving stones under real conditions of use and to optimize the proportions of recycled materials in order to maximize their resistance and durability.

**Keywords:** PET, Recycled rubber, Pavers.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPÍTULO I ..... 3

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 4

1.1. Planteamiento del problema ..... 4

1.2. Justificación de la investigación ..... 7

1.2.1. Justificación social ..... 7

1.2.2. Justificación ambiental ..... 7

1.2.3. Justificación económica ..... 7

1.2.4. Justificación tecnológica ..... 8

1.2.5. Justificación política/institucional ..... 9

1.2.6. Justificación ética ..... 9

1.3. Hipótesis ..... 10

1.3.1. Hipótesis general ..... 10

1.3.2. Hipótesis específicas ..... 10

1.4. Objetivos de la investigación ..... 10

1.4.1. Objetivo general ..... 10

1.4.2. Objetivos específicos ..... 11

1.5. Cuadro de consistencia ..... 12

1.6. Alcance ..... 13

1.7. Limitaciones ..... 13

CAPÍTULO II.....	15
2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	16
2.1. Estado del arte .....	16
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	16
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	19
2.1.3. Antecedentes locales.....	23
2.2. Marco legal.....	24
2.3. Marco teórico.....	26
2.3.1. Adoquines .....	26
2.3.2. Adoquines peatonales .....	27
2.3.3. Tereftalato de polietileno (PET) .....	27
2.3.4. Caucho reciclado .....	29
2.3.5. Reciclado .....	30
2.3.6. Criterios básicos para la fabricación de adoquines peatonales .....	31
2.3.7. Viabilidad de adoquines con caucho reciclado y PET.....	33
CAPÍTULO III.....	36
3. METODOLOGÍA PROPUESTA .....	37
3.1. Tipo de investigación .....	37
3.2. Métodos de investigación.....	41
3.3. Área de estudio .....	48
3.4. Recolección de la información .....	49
CAPÍTULO IV .....	52
4. RESULTADOS.....	53
4.1. Análisis granulométrico.....	53
4.1.1. Agregado fino .....	53
4.1.2. Agregado grueso .....	55

4.2. Peso específico y absorción de los agregados .....	57
4.2.1. Agregado fino .....	57
4.2.2. Agregado grueso .....	58
4.3. Peso unitario y vacío de los agregados .....	59
4.3.1. Agregado fino .....	59
4.3.2. Agregado grueso .....	63
4.4. Diseño de concreto método ACI 211.1 .....	69
4.5. Resultados descriptivos .....	96
4.5.1. Resistencia a la resistencia a la compresión .....	96
4.6. Resultados inferenciales .....	108
4.6.1. Resistencia a la compresión .....	108
4.7. Impacto de los resultados .....	123
4.7.1. Evaluación económica .....	123
4.7.2. Evaluación ambiental .....	137
CAPÍTULO V .....	141
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	142
5.1. Conclusiones .....	142
5.2. Recomendaciones .....	143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	145
ANEXOS .....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de consistencia .....	12
Tabla 2. Cuadro de variables .....	38
Tabla 3. Método de investigación.....	41
Tabla 4. Pruebas de investigación .....	43
Tabla 5. Muestra para la investigación .....	45
Tabla 6. Análisis estadístico mediante la prueba ANOVA y Tukey .....	46
Tabla 7. Análisis granulométrico del agregado fino.....	53
Tabla 8. Análisis granulométrico del agregado grueso .....	55
Tabla 9. Peso específico y absorción del agregado fino .....	57
Tabla 10. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	58
Tabla 11. Peso unitario y vacío del agregado fino varillado .....	59
Tabla 12. Peso unitario y vacío del agregado fino suelto .....	60
Tabla 13. Cálculo del volumen del molde de agregado fino .....	62
Tabla 14. Peso unitario y vacío del agregado grueso varillado .....	63
Tabla 15. Peso unitario y vacío del agregado grueso suelto .....	64
Tabla 16. Volumen del recipiente para agregado fino.....	66
Tabla 17. Contenido de humedad del agregado fino y grueso .....	67
Tabla 18. Datos para evaluar el diseño .....	69
Tabla 19. Datos del diseño de concreto .....	72
Tabla 20. Cantidad de materiales para realizar prueba de cono de Abrams.....	76
Tabla 21. Cantidad de materiales para realizar prueba de adoquines .....	77
Tabla 22. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 2% y caucho 5% .....	79
Tabla 23. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 4% y caucho 5% .....	81
Tabla 24. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 6% y caucho 5% .....	83

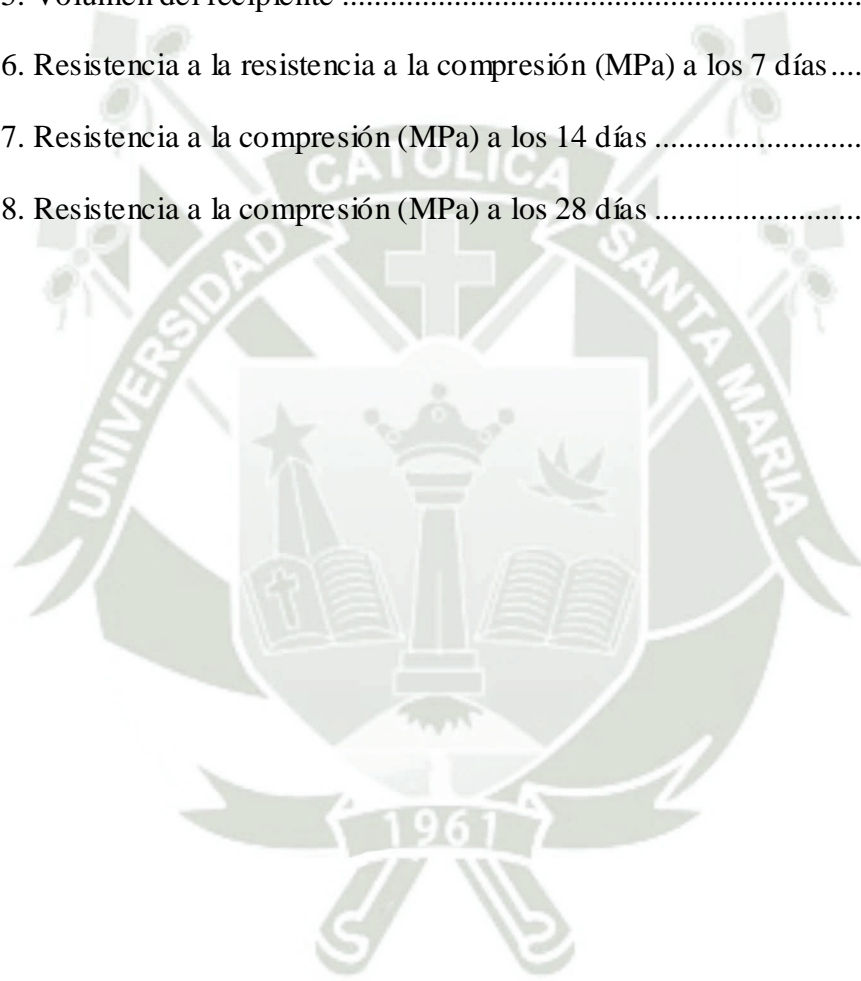
Tabla 25. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 2% y caucho 10%	84
Tabla 26. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 4% y caucho 10%	86
Tabla 27. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 6% y caucho 10%	88
Tabla 28. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 2% y caucho 15%	90
Tabla 29. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 4% y caucho 15%	92
Tabla 30. Diseño de concreto método ACI 211.1 con adición de pet 6% y caucho 15%	94
Tabla 31. Resultados de resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días	96
Tabla 32. Resultados de resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días	100
Tabla 33. Resultados de resistencia a la compresión (MPa) a 28 días	104
Tabla 34. Anova para la resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días	108
Tabla 35. Prueba de Tukey – resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días	109
Tabla 36. Anova para la resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días	113
Tabla 37. Prueba de Tukey – resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días	114
Tabla 38. Anova para la resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días	118
Tabla 39. Prueba de Tukey – resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días	119
Tabla 40. Costos unitarios molienda de caucho	124
Tabla 41. Costos unitarios molienda de PET	125
Tabla 42. Parámetros para adición de PET y caucho	126
Tabla 43. Materiales para adición de PET y caucho	128
Tabla 44. Mano de obra para adición de PET y caucho	129
Tabla 45. Resumen de costos unitarios de adoquín con adición de PET y caucho	130

Tabla 46. Parámetros para adoquín tradicional .....	131
Tabla 47. Materiales para adoquín tradicional .....	132
Tabla 48. Mano de obra para adoquín tradicional .....	133
Tabla 49. Resumen de costos unitarios de adoquín tradicional.....	134



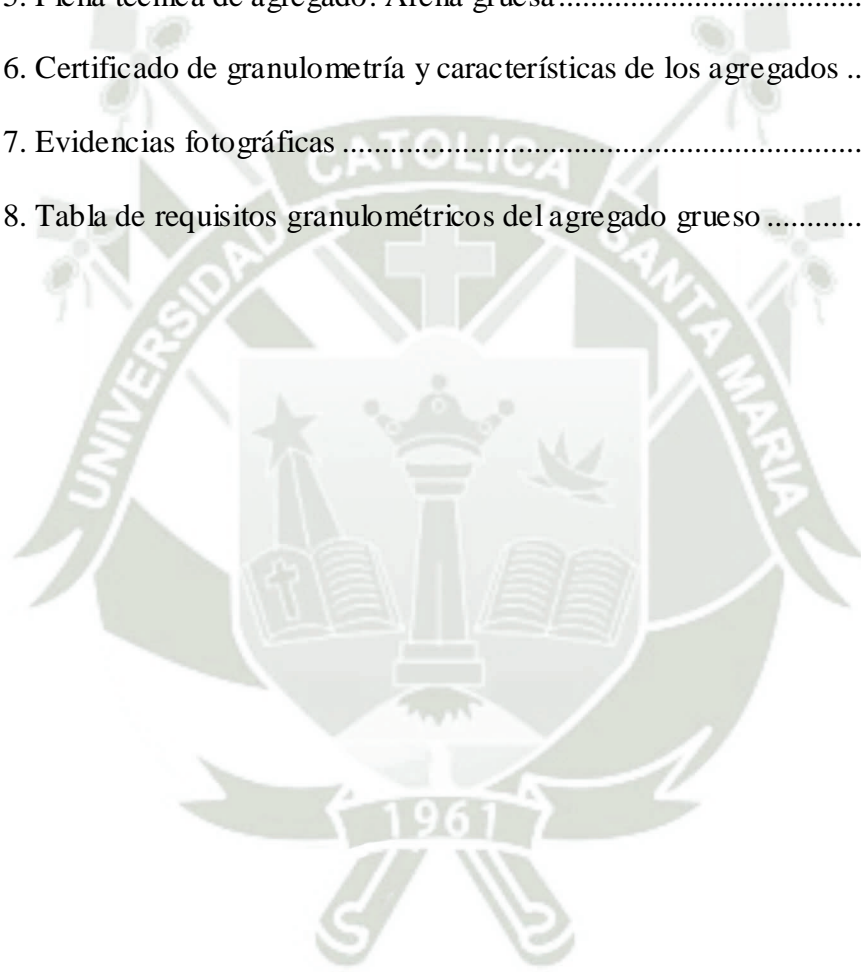
## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación.....	48
Figura 2. Curva granulométrica del agregado fino .....	54
Figura 3. Curva granulométrica del agregado grueso .....	56
Figura 4. Volumen del recipiente .....	61
Figura 5. Volumen del recipiente .....	65
Figura 6. Resistencia a la resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días.....	98
Figura 7. Resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días .....	102
Figura 8. Resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días .....	106



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	149
Anexo 2. Operacionalización de variables .....	150
Anexo 3. Base de datos para Resistencia a la compresion .....	151
Anexo 4. Ficha técnica de agregado: Piedra 3/4” .....	152
Anexo 5. Ficha técnica de agregado: Arena gruesa .....	153
Anexo 6. Certificado de granulometría y características de los agregados .....	154
Anexo 7. Evidencias fotográficas .....	156
Anexo 8. Tabla de requisitos granulométricos del agregado grueso .....	177



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gestión sostenible de residuos sólidos representa un desafío ambiental significativo a nivel mundial. Entre los desechos de mayor impacto, se encuentran el caucho proveniente de neumáticos fuera de uso y el tereftalato de polietileno (PET), materiales que poseen una alta durabilidad y difícil degradabilidad, lo que contribuye a la contaminación del suelo y del agua. En este contexto, la reutilización de estos materiales en la industria de la construcción se presenta como una alternativa viable para mitigar su impacto ambiental y fomentar el desarrollo de tecnologías sostenibles.

En la ciudad de Arequipa, la demanda de pavimentos peatonales ha ido en aumento debido al crecimiento urbano y la necesidad de infraestructura más resistente y sostenible. En este sentido, la incorporación de materiales reciclados en la fabricación de adoquines representa una oportunidad para reducir la dependencia de materias primas convencionales, disminuir la acumulación de residuos y, al mismo tiempo, mejorar ciertas propiedades del material resultante. Investigaciones previas han demostrado que la adición de caucho reciclado y PET en mezclas de concreto puede influir en su resistencia mecánica, lo que justifica la necesidad de estudiar su aplicabilidad en adoquines peatonales.

El presente estudio tiene como objetivo determinar las propiedades físico-mecánicas de los adoquines peatonales elaborados con adiciones de caucho reciclado y PET, evaluando su resistencia a la compresión. Para ello, se realizarán ensayos experimentales siguiendo normativas técnicas que permitan comparar su desempeño con el de los adoquines convencionales.

La relevancia de esta investigación radica en su potencial para contribuir a la economía circular en la construcción, ofreciendo una alternativa ecológica y funcional para la fabricación de adoquines. Además, los resultados obtenidos servirán como referencia para

futuras investigaciones y podrían incentivar el uso de materiales reciclados en proyectos de infraestructura urbana en Arequipa y otras regiones del país.

En los siguientes capítulos, se abordarán el marco teórico, la metodología utilizada en los ensayos, la presentación y análisis de los resultados, así como las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.





## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

Se pueden encontrar barriles que contienen tereftalato de polietileno (PET) y caucho usados en vertederos, ríos y océanos dondequiera que se desechen. Su tasa de degradación es lenta y se han convertido en parte de la crisis ecológica que se está produciendo en todas partes. Para lograr un crecimiento sostenible, es absolutamente necesario un cambio de paradigma. Según Balboa y Mateo (2021), el objetivo es reciclar estos recursos para contribuir a prácticas de construcción ambientalmente responsables y sostenibles.

Investigaciones recientes indican que cada año se producen en todo el mundo más de mil millones de neumáticos usados, lo que equivale aproximadamente a 17 millones de toneladas, y el setenta y cinco por ciento de ellos se desecha en vertederos (Galifanov, 2023). Si bien el 79 % del plástico mundial se desecha en vertederos o se libera al medio ambiente, solo el 9 % se recicla. Por lo tanto, se requieren medidas inmediatas: reducir la cantidad de plástico que se utiliza para un solo propósito, fomentar la reutilización y mejorar el reciclaje (Varela, 2023). La producción anual de 276 toneladas de PET en Perú es un problema importante, ya que el 72 % de esa cantidad se desecha en menos de un año. Solo el 22 % se recicla. Esto corresponde a las aproximadamente 45 000 toneladas de neumáticos viejos que se producen anualmente en Perú, lo que equivale a 1,7 millones de neumáticos (Farfán y Leonardo, 2018).

Se genera una alta tasa de reemplazo y disposición de neumáticos al final de su vida útil (ENDT) debido al uso de neumáticos que no tienen potencial de reutilización (reciclados o recauchutados). Entre 2015 y 2020, se importaron 2 499 756 161 neumáticos, lo que corresponde a un ingreso mensual promedio de 5 786 473 neumáticos. Según Núñez (2023), la mayoría de estos neumáticos se desechan posteriormente en vertederos y basureros

municipales, lo que podría provocar un aumento alarmante en la cantidad de materiales reciclados en la ciudad de Arequipa.

La construcción de infraestructura urbana es un factor clave en este cambio en el contexto actual, caracterizado por una mayor conciencia ambiental y la búsqueda de soluciones sostenibles. Esta investigación sobre el uso de materiales reciclados en proyectos de construcción surge de la preocupación por reducir el impacto ecológico de los proyectos. El caucho reciclado y el tereftalato de polietileno (PET) son dos de los materiales que se han revelado como opciones viables y prometedoras. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es determinar si estos materiales son adecuados para su uso como complementos en la producción de adoquines peatonales en Arequipa durante el año 2024.

Los residuos sólidos son uno de los muchos factores que afectan negativamente al medio ambiente. El plástico es un importante tipo de residuo sólido con un fuerte impacto ambiental, convirtiéndose, tarde o temprano, en residuo todo tipo de plástico utilizado en la vida diaria. Por lo tanto, el aumento del consumo de diversos tipos de productos plásticos es uno de los desafíos más importantes en la protección del medio ambiente (Baciu et al., 2022).

Aunque existen estudios a nivel global que respaldan la eficacia de caucho reciclado y PET en aplicaciones constructivas, la falta de investigaciones específicas en el contexto local de Arequipa genera incertidumbres sobre su adaptabilidad y rendimiento en condiciones específicas de la región. Estudios previos han demostrado que la introducción de materiales reciclados en la construcción puede ofrecer ventajas tanto ambientales como económicas, pero la aplicación precisa de estos materiales en adoquines peatonales aún requiere una evaluación exhaustiva.

Arequipa, como una ciudad en constante crecimiento, enfrenta desafíos significativos en términos de desarrollo urbano sostenible. La posibilidad de incorporar caucho reciclado y PET en la fabricación de adoquines peatonales podría no solo reducir la dependencia de

materias primas convencionales, sino también contribuir a la gestión de residuos y promover prácticas más amigables con el medio ambiente. En este sentido, la investigación propuesta busca llenar un vacío de conocimiento local y proporcionar datos fundamentales para respaldar decisiones informadas en el ámbito de la construcción sostenible.

El objetivo principal de este estudio es evaluar de manera integral el desempeño del caucho reciclado y el PET como complementos en la elaboración de adoquines peatonales en Arequipa durante el año 2024. Para lograr esto, se pretende analizar la resistencia a la compresión de los adoquines fabricados con estos materiales.

La metodología de investigación se basa en ensayos físicos y químicos de laboratorio, así como en pruebas de campo para simular las condiciones reales de uso de los adoquines. Se recopilaron datos sobre la resistencia a la compresión.

Se espera que los resultados de esta investigación proporcionen información valiosa para los profesionales de la construcción, urbanistas y tomadores de decisiones en Arequipa. Al establecer la viabilidad y beneficios de la utilización de caucho reciclado y PET en adoquines peatonales, se pretende fomentar prácticas constructivas más sostenibles en la región y sentar las bases para futuras investigaciones en este campo.

La adopción exitosa de adoquines peatonales fabricados con caucho reciclado y PET no solo podría impactar positivamente en la industria de la construcción local, sino que también tendría beneficios significativos para el entorno urbano y la gestión de residuos. Reducir la dependencia de materiales convencionales y al mismo tiempo dar un segundo uso a materiales reciclados contribuiría a la construcción de una ciudad más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

## **1.2. Justificación de la investigación**

### ***1.2.1. Justificación social***

La adición de materiales reciclados, como el caucho reciclado y el tereftalato de polietileno (PET), a la mezcla de concreto no implica la sustitución de los componentes tradicionales del concreto, sino que se trata de una adición que contribuye a la mejora de las propiedades físico-mecánicas, como la resistencia a la compresión. Esta adición no solo fomenta el reciclaje de materiales y la reducción de desechos, sino que también permite que los adoquines fabriquen de forma más económica y sostenible, sin sacrificar su desempeño estructural en las condiciones de tráfico peatonal.

### ***1.2.2. Justificación ambiental***

El uso de caucho reciclado y PET en la fabricación de adoquines peatonales se basa en la idea de añadir estos materiales reciclados a la mezcla de concreto, sin sustituir completamente los agregados tradicionales. Esto permite mejorar las propiedades mecánicas del concreto, mientras se reduce la acumulación de residuos en vertederos, promoviendo la economía circular. Al añadir estos materiales, se minimiza el impacto ambiental sin comprometer las propiedades fundamentales del concreto, como la resistencia y la durabilidad, lo que hace viable su aplicación en la construcción de infraestructura urbana sostenible.

### ***1.2.3. Justificación económica***

El estudio sobre la incorporación de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en la producción de adoquines peatonales en Arequipa en 2024 presenta una sólida justificación económica. La utilización de estos materiales reciclados puede reducir los costos de producción al disminuir la necesidad de adquirir materias primas tradicionales,

como la piedra y la arena. Además, al emplear desechos plásticos y de caucho como recursos, se abren oportunidades para la generación de empleo en la gestión de residuos y en la industria del reciclaje, contribuyendo así al desarrollo económico local. Esta iniciativa también puede resultar en ahorros a largo plazo para las municipalidades y los desarrolladores al ofrecer una alternativa duradera y de bajo mantenimiento para la construcción de infraestructura peatonal, reduciendo los costos asociados con reparaciones y reemplazos frecuentes. En resumen, la integración de caucho reciclado y PET en la fabricación de adoquines peatonales no solo es una decisión ambientalmente responsable, sino también una oportunidad económica que puede impulsar el crecimiento sostenible y la competitividad en la región de Arequipa.

#### ***1.2.4. Justificación tecnológica***

La incorporación de materiales reciclados, como el caucho reciclado y el tereftalato de polietileno (PET), en la fabricación de adoquines peatonales no implica la sustitución de los materiales convencionales, sino que se trata de una adición que optimiza las propiedades físico-mecánicas del concreto. Esta adición permite mejorar aspectos como la resistencia a la compresión, sin eliminar los componentes tradicionales que proporcionan estabilidad estructural al material. El uso de estos materiales reciclados en pequeñas proporciones refuerza la sostenibilidad de la industria de la construcción, promoviendo la reutilización de residuos y reduciendo la demanda de recursos naturales. Además, el proceso de adición de PET y caucho reciclado permite mantener el rendimiento técnico de los adoquines, lo que resulta en un producto final con características mejoradas, como mayor resistencia al desgaste y mayor capacidad de absorción de impactos, adecuado para su uso en espacios urbanos peatonales.

### ***1.2.5. Justificación política/institucional***

El estudio sobre la inclusión de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en la manufactura de adoquines peatonales en Arequipa en 2024 posee una relevante justificación político/institucional. Esta iniciativa está alineada con las políticas y objetivos gubernamentales tanto a nivel local como nacional, que promueven la economía circular, la gestión sostenible de residuos y la mejora de la infraestructura urbana. La adopción de medidas que fomenten la utilización de materiales reciclados en la construcción se alinea con los compromisos internacionales asumidos por el Perú en materia de desarrollo sostenible y mitigación del cambio climático. Además, esta investigación y su implementación pueden beneficiarse del apoyo y la coordinación entre diversas instituciones gubernamentales, como los ministerios de medio ambiente, transporte y construcción, así como de la participación activa de los gobiernos locales y la sociedad civil, fortaleciendo la gobernanza ambiental y la colaboración interinstitucional para lograr un desarrollo urbano más inclusivo y sostenible en Arequipa y en todo el país.

### ***1.2.6. Justificación ética***

El estudio sobre la incorporación de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en la fabricación de adoquines peatonales en Arequipa en 2024 presenta una sólida justificación ética. En primer lugar, promueve la responsabilidad moral hacia el medio ambiente al reducir la cantidad de desechos plásticos y de caucho que terminan en vertederos, evitando así el deterioro del entorno natural y protegiendo la biodiversidad local. Además, esta investigación aborda directamente la preocupación por el bienestar de las comunidades urbanas al proporcionar infraestructura segura y accesible para los peatones, mejorando la calidad de vida y promoviendo la equidad en el acceso a espacios públicos. Al optar por la utilización de materiales reciclados y sostenibles en la construcción de

adoquines, se establece un compromiso ético con las generaciones presentes y futuras, asegurando un legado ambientalmente responsable y socialmente justo para Arequipa y sus habitantes.

### 1.3. Hipótesis

#### 1.3.1. *Hipótesis general*

Es probable que el uso de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) como base para la fabricación de adoquines peatonales mejore las propiedades físico-mecánicas de los adoquines, permitiendo su uso en la construcción de vías peatonales.

#### 1.3.2. *Hipótesis específicas*

**HE1.** Es probable que el uso de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) como base para la fabricación de adoquines peatonales mejore la resistencia a la compresión de los adoquines, permitiendo su uso en la construcción de vías peatonales.

**Justificación:** El caucho reciclado y el tereftalato de polietileno (PET) pueden contribuir a la mejora de la resistencia a la compresión de los adoquines debido a sus propiedades intrínsecas. El caucho tiene una alta capacidad de absorción de impactos y puede distribuir las cargas aplicadas de manera uniforme, reduciendo la concentración de tensiones en puntos específicos del adoquín. Por otro lado, el PET, al ser un material polimérico con buena rigidez y estabilidad dimensional, puede proporcionar una estructura más resistente y duradera. La combinación de estos materiales puede resultar en una matriz compuesta que resista mejor las fuerzas compresivas, incrementando así la durabilidad y la capacidad de carga de los adoquines peatonales.

### 1.4. Objetivos de la investigación

#### 1.4.1. *Objetivo general*

Determinar las propiedades físico-mecánicas de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

**OE1.** Determinar la resistencia a la compresión, de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).

**OE2.** Describir las características de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).

El objetivo principal de este estudio es determinar las propiedades físico-mecánicas de los adoquines peatonales fabricados con una base de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET). Para lograrlo, se fabricarán adoquines incorporando distintas proporciones de caucho reciclado y PET, evaluando sus propiedades físicas y mecánicas a través de pruebas específicas.

El primer objetivo específico (OE1) consiste en determinar la resistencia a la compresión de los adoquines. Se realizarán ensayos de carga en los adoquines fabricados, midiendo la carga máxima que pueden soportar antes de la rotura, calculo de la resistencia a la compresión.

El segundo objetivo específico (OE2) se enfoca en describir las características de las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines. Los resultados obtenidos en las pruebas de propiedades físicas y mecánicas se describen detalladamente para caracterizar el comportamiento de los adoquines bajo las condiciones evaluadas.

## 1.5. Cuadro de consistencia

**Tabla 1.**

Cuadro de consistencia

<b>Problema general:</b>	<b>Objetivo general:</b>	<b>Hipótesis general:</b>
¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas de un adoquín peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET)?	Determinar las propiedades físico-mecánicas de un adoquín peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).	Los adoquines peatonales fabricados con caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) presentan propiedades físico-mecánicas comparables o superiores a las de los adoquines tradicionales.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>
<b>PE1:</b> ¿Cuáles la resistencia a la compresión de los adoquines peatonales utilizando como base caucho reciclado y PET?	<b>OE1:</b> Determinar la resistencia a la compresión de adoquines peatonales utilizando como base caucho reciclado y PET.	<b>HE1:</b> Los adoquines peatonales fabricados con caucho reciclado y PET tienen una resistencia a la compresión superior a la de los adoquines tradicionales.
<b>PE2:</b> ¿Cuáles son las características de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET)?	<b>OE2:</b> Describir las características de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).	

Nota. Elaboración propia

## 1.6. Alcance

El alcance de este estudio abarca la investigación exhaustiva de la viabilidad técnica, económica, ambiental y social de integrar caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en la fabricación de adoquines de baja carga solo usados para tráfico peatonal en la ciudad de Arequipa durante el año 2024. Esto implica la evaluación de diferentes formulaciones y procesos de producción para optimizar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines, así como el análisis de los costos asociados con la adquisición, procesamiento y aplicación de los materiales reciclados. Además, se llevará a cabo un estudio exhaustivo del impacto ambiental de esta práctica, incluyendo la reducción de residuos y la mitigación de la contaminación, así como la evaluación de los beneficios sociales, como la mejora de la infraestructura peatonal y la creación de empleo en la gestión de residuos. El alcance también contempla la elaboración de recomendaciones específicas para la implementación exitosa de esta iniciativa, incluyendo posibles políticas de apoyo, regulaciones y estrategias de comunicación para promover su adopción por parte de los actores relevantes en el ámbito gubernamental, empresarial y comunitario.

## 1.7. Limitaciones

Este estudio, que investiga la viabilidad de integrar caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en la fabricación de adoquines peatonales en Arequipa durante el año 2024, enfrenta varias limitaciones que deben ser consideradas cuidadosamente. En primer lugar, la calidad y disponibilidad fluctuante de los materiales reciclados podrían afectar la uniformidad y las propiedades finales de los adoquines producidos, lo que requeriría un análisis exhaustivo de los recursos disponibles y una selección cuidadosa de proveedores confiables. Además, las condiciones climáticas y ambientales locales, como la exposición a la radiación solar y la variabilidad en la humedad y temperatura, podrían influir en la

durabilidad y estabilidad de los adoquines, lo que demandaría pruebas a largo plazo para evaluar su rendimiento en diferentes contextos ambientales.

Por otro lado, las regulaciones y normativas existentes relacionadas con la utilización de materiales reciclados en la construcción podrían representar una limitación, requiriendo un análisis detallado de los requisitos legales y la obtención de posibles certificaciones. Además, la adopción de tecnologías avanzadas para la producción de adoquines con materiales reciclados podría estar condicionada por los costos asociados y la disponibilidad de capacitación especializada, lo que podría restringir su acceso para ciertos fabricantes o municipios. Finalmente, la aceptación y percepción del público respecto a la utilización de adoquines fabricados con materiales reciclados constituye un factor crítico, por lo que sería necesario implementar campañas de sensibilización y educación para abordar posibles preocupaciones o prejuicios. En conjunto, estas limitaciones deben ser abordadas con atención durante el desarrollo y la implementación del estudio, así como en la interpretación de sus resultados y recomendaciones.

Por último, una de las principales limitaciones de esta investigación fue la imposibilidad de realizar la evaluación de la tracción indirecta y la resistencia climática, esto debido a que el laboratorio de la universidad no dispone del equipo necesario para llevar a cabo dichos ensayos. Además, en la ciudad de Arequipa no existen instalaciones adecuadas para la realización de estos análisis específicos, y el costo de realizar los ensayos en Lima resultaba excesivo para el presupuesto disponible. Esta restricción afectó el alcance de la investigación, limitando la posibilidad de obtener datos más detallados sobre las propiedades mecánicas y la durabilidad de las mezclas en estudio.



## CAPÍTULO II

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Estado del arte

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Iftikhar et al. (2023), destacan el uso de residuos plásticos, en concreto polietileno de baja densidad (LDPE), en la fabricación de adoquines de arena, lo que elimina el consumo de cemento. Además, se incluyen fibras de basalto, un material industrial respetuoso con el medio ambiente, en la creación de adoquines de arena respetuosos con el medio ambiente para cumplir con la norma ASTM C902-15 de 20 N/mm para tráfico ligero. El plástico LDPE sobrante se fundió al aire libre y se mezcló con arena para la fabricación de los adoquines. La proporción de fibras de basalto, el tamaño de las partículas de arena y la proporción de LDPE a arena variaron en diferentes momentos del experimento. Se realizó una evaluación para determinar la resistencia a la compresión. Los mejores resultados se obtuvieron al incluir un 0,5 % de fibras de basalto de 4 milímetros de longitud. Esto resultó en un aumento del 20,5 % en la resistencia a la compresión y una reducción del 50,5 % en la absorción de agua. Una proporción de 30:70 de LDPE y arena produjo los mejores resultados, siendo la arena más fina la que produjo la mayor resistencia a la compresión. Los mejores resultados se obtuvieron durante el experimento. Este estudio ha dado como resultado la producción de adoquines ecológicos mediante la eliminación del cemento y su sustitución por plástico de desecho. Estos adoquines serán beneficiosos para el medio ambiente, ahorrarán dinero, reducirán las emisiones de dióxido de carbono y serán adecuados para lugares con poco tráfico. Todos estos factores contribuyen al desarrollo de prácticas sostenibles.

Adrada y Delgado (2023), tienen por propósito determinar la respuesta mecánica de los adoquines mediante ensayos de resistencia a la flexión y la compresión tras la adición de una cantidad determinada de aglutinante de polietileno de baja densidad (LDPE) reciclado a la mezcla. La combinación de adoquines y LDPE muestra que añadir hasta un 2% a la mezcla

no perjudica el rendimiento mecánico de las muestras. Esto significa que existen diversas maneras de reducir la huella de carbono en la fabricación de hormigón y adoquines. En general, los resultados son prometedores y sugieren que el empleo de los residuos reciclados estudiados como recurso alternativo en la fabricación de adoquines de hormigón podría ser beneficioso. Se generaron muestras de adoquines de referencia y adoquines con 1 %, 2 %, 4 %, 6 % y 6,4 % de APEBD, para poder compararlos. Se utilizaron estudios de laboratorio para determinar la distribución granulométrica, el peso unitario, la densidad y la absorción de la piedra y el agregado reciclado, y el índice de forma. Además, se utilizó la liofilización para verificar la porosidad interna del material polimérico, lo que permitió medir con precisión la propiedad de absorción, importante para el diseño de mezclas de hormigón.

Baciu et al. (2022) en su artículo indican que el uso del hormigón simple y del hormigón armado está algo restringido por fenómenos específicos como: fisuración, resistencia al fuego, contracción, resistencia a los golpes, resistencia al desgaste, durabilidad, etc. Por este motivo, una mejora en el rendimiento del hormigón se puede obtener añadiendo en su masa refuerzos dispersos en forma de fibras de diferentes materiales. El hormigón armado disperso da como resultado la inclusión de una cantidad variable de fibras discontinuas en la masa de hormigón. Estas fibras pueden ser de diferentes tipos y tamaños y tener diferentes propiedades. Este tipo de refuerzos se ha convertido en un tema de investigación importante en los últimos años. Por tanto, utilizar residuos plásticos en la industria de materiales es una solución medioambiental para minimizar la proporción de vertederos utilizados en la incineración de residuos. La reutilización de plásticos como aditivos para el hormigón también podría redirigir las botellas viejas de agua y refrescos, que de otro modo terminarían en su mayor parte en un vertedero. La investigación se ha centrado en el impacto de añadir material plástico al hormigón fresco y endurecido. Este

estudio tiene como objetivo investigar el uso de desechos de tereftalato de polietileno (PET) en el hormigón.

Patíño (2022) en su investigación se plantea por propósito analizar las propiedades mecánicas de muestras regulares de adoquines con diferentes cantidades de plástico reciclado añadido, en función de su resistencia a la tracción y la compresión indirectas. Estudio explicativo-experimental y cuenta con 192 adoquines como tamaño de muestra, con 48 para cada porcentaje de plástico reciclado: 0%, 1%, 3% y 5%. El plástico utilizado para fines distintos a los previstos es perjudicial tanto para la salud como para el medio ambiente, ya que se ha utilizado de forma inadecuada durante muchos años. Es posible utilizar hasta un 3% de plástico reciclado en la mezcla de hormigón para adoquines, siempre que se mantenga un control de calidad, según los objetivos especificados y los datos evaluados. Esto se debe a que el plástico utilizado no altera significativamente las propiedades mecánicas de los adoquines cuando se someten a pruebas de tracción y compresión indirectas. Además, los adoquines que contienen más plástico reciclado son más livianos, lo que ayuda a disminuir el daño que los plásticos causan al medio ambiente.

Sambucci y Valente (2021) en su artículo, presentan el objetivo de diseñar y desarrollar adoquines ligeros para uso peatonal o de tránsito muy ligero (zona de aparcamiento, garaje, acera o superficies deportivas), en este artículo se presenta la caracterización material de morteros de cemento cauchutados utilizando caucho de neumáticos de desecho molidos (caucho de 0 a 1 mm). polvo y gránulos de caucho de 1 a 3 mm) para sustituir totalmente los áridos minerales. Considerando los requisitos recomendados para los elementos de pavimento de concreto en términos de resistencia mecánica, desempeño de drenaje de agua, atenuación acústica y comportamiento dinámico y de absorción de energía, se propone una prueba integral de laboratorio para cinco formulaciones diferentes variando el nivel de reemplazo de arena-caucho y la relación de

proporción entre el dos fracciones de caucho. Las pruebas arrojaron resultados positivos y prometedores para convertir muestras de laboratorio en elementos prefabricados.

Sierra et al. (2020) el objetivo de determinar el estado de la investigación relacionada con los usos y el comportamiento mecánico del caucho, así como su interacción como reemplazo en los agregados, con el fin de establecer perspectivas de investigación en las facultades de ingeniería civil en Colombia. Su metodología incluyó la recolección de información de diversas fuentes, como bases de datos, documentos científicos, revistas, informes institucionales y trabajos de grado. Se evidenció que predominan los estudios que aplican caucho reciclado como reemplazo del agregado fino y del volumen total de los agregados, destacando una relación agua-cemento promedio de 0.5 como un valor óptimo que garantiza altas resistencias.

De igual manera, Torres y Jaimes (2019) llevaron a cabo un estudio titulado, con el propósito de determinar las propiedades físico-químicas de adoquines cuyo contenido de árido fue sustituido parcialmente por grano de caucho reciclado (GCR). En su investigación, se evaluaron las propiedades mecánicas de las diferentes dosificaciones mediante ensayos de absorción, flexo-tracción y compresión, comparándolas con réplicas convencionales. Los resultados obtenidos evidenciaron que el GCR puede ser utilizado como un sustituto viable del agregado fino, ya que los adoquines ecológicos fabricados con sustituciones de 5%, 7% y 9% de arena mostraron una absorción y resistencia a la flexión por encima de los estándares exigidos por la normativa técnica colombiana. Esto sugiere que el uso de GCR en la elaboración de adoquines podría ofrecer una alternativa efectiva para el reciclaje y contribuir a la sostenibilidad en la industria constructiva.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Aguinaga et al. (2023) en su artículo, se plantean por finalidad fabricar ladrillos ecológicos incorporando en su estructura caucho (R) y tereftalato de polietileno (PET) que

son componentes plásticos de llantas usadas, para sustituir parcialmente los agregados convencionales en la fabricación de ladrillos. En el proceso, se comparan las especificaciones de estos ladrillos con las características físicas y mecánicas indicadas en la norma E. 0.70 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). Se ensayó la fabricación con dosis de 12 %, 24 % y 36 % de R y PET junto con cemento y sílice en la mezcla, obteniendo valores de resistencia mecánica a la compresión promedio de 174.71 kg/cm<sup>2</sup>, 134.02 kg/cm<sup>2</sup>, y 71 kg./cm<sup>2</sup> para las composiciones indicadas, lo que lo clasifica como ladrillos tipo V, tipo IV y tipo III respectivamente (NTP 399.604 y NTP 399.613). La dosis más óptima fue 12 % R y PET, 50 % cemento y 25 % sílice, que corresponde al ladrillo tipo V. Este aprovechamiento de residuos se realiza dentro del concepto de economía circular en el ciclo de vida de los materiales.

Asimismo, Dávila (2023) realizó un estudio el objetivo principal fue analizar cómo la adición de caucho y PET reciclado afecta las propiedades físico-mecánicas del adoquín peatonal. La investigación se llevó a cabo utilizando 108 adoquines de muestra, los cuales fueron sometidos a ensayos en laboratorio para evaluar su trabajabilidad, absorción, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos indicaron que la adición de caucho y PET reciclado mejoró tanto las propiedades físicas como mecánicas del adoquín peatonal. Se determinó que un porcentaje de adición del 4% fue óptimo para mejorar las propiedades mecánicas. Además, se observó que el rango óptimo de adición de caucho y PET para adoquines tipo L se situó entre el 4% y el 8%. En conclusión, se demostró que la inclusión de caucho y PET reciclado influye de manera positiva en las propiedades físico-mecánicas del adoquín peatonal.

En el estudio realizado por Córdova (2022), se buscó determinar la influencia de la incorporación de perlas de poliestireno en el diseño de adoquines de concreto para vías vehiculares. Para ello, se emplearon técnicas de observación, análisis de resultados y ensayos

de laboratorio en adoquines tanto con o sin adición de perlas de poliestireno. Se utilizó una muestra compuesta por 20 adoquines de concreto, y se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión y porcentaje de absorción en lapsos de tiempo de 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio concluyeron que existe una influencia significativa entre los adoquines de concreto elaborados con perlas de poliestireno y aquellos sin esta adición, lo que sugiere un impacto notable en las propiedades del adoquín al incorporar este material reciclado.

Dionicio (2022) llevó a cabo un análisis sobre el comportamiento mecánico del concreto  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> para veredas, sustituyendo parcialmente el agregado fino por caucho reciclado en Lima. El objetivo fue determinar la influencia del agregado fino de caucho reciclado en el comportamiento mecánico del concreto. Se realizaron ensayos tanto en estado fresco, mediante la prueba de Slump, como en estado endurecido, con ensayos de compresión y flexión durante periodos de maduración de 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos fueron favorables, mostrando que los diferentes porcentajes de reemplazo (5%, 10% y 15%) generaron asentamientos de concreto de 3.43", 3.15" y 2.91", respectivamente. Además, se observaron resultados óptimos en compresión y flexión para el concreto con un reemplazo parcial del 5%, alcanzando 176.4 kg/cm<sup>2</sup> y 25 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, cumpliendo con los parámetros normados por el ACI. Estos resultados indican que los cambios en la composición del concreto respetaron los estándares requeridos para todos los proyectos.

Ayala y Machuca (2022) llevaron a cabo una evaluación del tereftalato de polietileno (PET) y caucho reciclado para mejorar las propiedades del adoquín peatonal en Miraflores. El objetivo fue evaluar la influencia de estos materiales en las propiedades del adoquín. Los resultados mostraron que la incorporación de PET en concentraciones del 3%, 4% y 6%, así como de caucho reciclado en concentraciones del 4%, 6% y 8%, produjo una disminución

significativa en la absorción de agua, alcanzando un mínimo del 1.44% con el 3% de PET. Además, se observó un aumento notable en la resistencia a la compresión, alcanzando hasta 346 kg/cm<sup>2</sup> con un 6% de caucho reciclado. En términos de resistencia al desgaste por abrasión, se evidenció una pérdida de 1.19 cm<sup>3</sup> con el 3% de PET. En conclusión, se determinó que la incorporación de PET resulta favorable para mejorar las propiedades de absorción y resistencia al desgaste por abrasión, mientras que el caucho reciclado demostró mejoras consistentes en todos los ensayos realizados.

Jaimés (2021) llevó a cabo un estudio con el propósito de determinar cómo las fibras de Coco y Gilma afectan el comportamiento mecánico de los adoquines de concreto destinados al tránsito peatonal. Para este fin, se realizaron ensayos de compresión utilizando una muestra de 63 probetas cilíndricas. Los resultados mostraron que la adición de Fibra de Gilma al 2.5% produjo el mejor resultado, con una resistencia a la compresión de 236 kg/cm<sup>2</sup>. Del mismo modo, se encontró que la dosificación óptima de Fibra de Coco fue del 3.5%, logrando una resistencia a la compresión de 232 kg/cm<sup>2</sup>. Estos hallazgos indican que la incorporación de fibras de Coco y Gilma mejora las propiedades mecánicas del concreto incluso en dosificaciones bajas, lo que sugiere su potencial como aditivos para mejorar la resistencia de los adoquines de concreto destinados al tránsito peatonal.

Por su parte, Flores (2021) con el objetivo de mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto utilizado en la fabricación de adoquines mediante la inclusión de caucho reciclado. En su estudio, se elaboraron adoquines de control y otros con diferentes mezclas de caucho reciclado (CR) y caucho reciclado triturado (CRT), los cuales fueron sometidos a pruebas mecánicas de compresión y flexión. Los resultados obtenidos mostraron que la mezcla de concreto con CR y CRT mantuvo su trabajabilidad hasta un reemplazo parcial del 15%. Además, se observó una tendencia lineal en el comportamiento de asentamiento y peso unitario con el aumento del contenido de caucho. Las pruebas

mecánicas de compresión y flexión también evidenciaron una mejora gradual a medida que se incrementaba el contenido de CR y CRT en comparación con los adoquines de control. Se destacó que los adoquines con CRT mostraron una ligera mejora sobre aquellos con CR, lo que resalta el potencial del caucho reciclado triturado para mejorar las propiedades de los adoquines de concreto.

Balboa y Mateo (2021) con el objetivo de demostrar que esta propuesta mejoraría las propiedades mecánicas del concreto, incrementando su vida útil, resistencia a la meteorización, acción química y desgaste. Tras analizar los resultados de 84 ensayos, se encontró que todas las muestras superaron al concreto convencional, destacándose la muestra tres con mejoras significativas: 8.38% en resistencia a compresión, 19.17% en resistencia a flexión, 24.16% en resistencia a tracción y una reducción de densidad del 13.17%. Aunque se lograron los objetivos de la investigación, como la disminución de la densidad y el aumento de las propiedades mecánicas, lo que representa ventajas medioambientales y sociales, se señaló como desventaja el incremento de los costos en un 47.01% en comparación con la muestra estándar.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Por otro lado, Bernedo y Nina (2020) realizaron un estudio con el objetivo de maximizar las características mecánicas del concreto con una resistencia  $f_c = 380 \text{ kg/cm}^2$  mediante la integración de fibras de polipropileno para su uso en adoquines aptos para el tráfico vehicular ligero. Más específicamente, los investigadores querían optimizar las propiedades mecánicas del concreto. Utilizaron un total de 67 adoquines con diversas adiciones de polipropileno en su metodología. Estas piedras se sometieron a ensayos de compresión a diferentes edades en el rango de siete, catorce y veintiocho días. Además, se sometieron a ensayos de absorción y variación dimensional para determinar si cumplían o no con los parámetros requeridos por la norma. Los hallazgos obtenidos demostraron que la

incorporación de fibras de polipropileno en concentraciones de 0,0625 %, 0,125 % y 0,25 % mejoró las propiedades mecánicas del adoquín de hormigón, que presentó una resistencia de  $f_c = 380 \text{ kg/cm}^2$  después de 28 días. Esto representó un aumento en la resistencia del adoquín.

A nivel local no se encontraron otros estudios o trabajos relacionados a la utilización de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) como adiciones en la fabricación de adoquines peatonales.

## 2.2. Marco legal

Para realizar una investigación sobre el diseño de una ciclovía en la Avenida Venezuela, Arequipa, Perú, y asegurar que el proyecto se alinee con los requisitos legales y normativos aplicables, es importante considerar varias normativas y marcos legales a nivel nacional y local. A continuación, se detallan algunas de las normativas y documentos legales relevantes en el contexto peruano:

- Ley N° 27181, Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre: Esta ley establece los principios generales para la regulación del transporte y tránsito terrestre en Perú, incluyendo aspectos relacionados con la planificación, regulación, y administración de infraestructuras viales (Congreso de la República, 2018).
- Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial (Decreto Supremo N° 034-2008-MTC): Este reglamento proporciona directrices para la gestión de la infraestructura vial, incluyendo el diseño, construcción, mantenimiento y operación de vías urbanas y rurales, lo que puede incluir ciclovías (MTC, 2008).
- Norma CE.030: es una parte de las "Normas Técnicas de Edificación" de Perú, específicamente relacionada con el diseño de vías urbanas. La norma CE.030 establece los criterios técnicos para el diseño, construcción y mantenimiento de las vías urbanas, asegurando que estas sean seguras, accesibles y funcionales para todos los usuarios, incluidos peatones, ciclistas y vehículos motorizados (RNE, 2018).
- Plan Nacional de Desarrollo Urbano: Este plan puede contener lineamientos y políticas específicas para el desarrollo de infraestructuras de transporte sostenible, en áreas urbanas.
- Ordenanzas Municipales de Arequipa: Las ordenanzas locales pueden establecer regulaciones específicas para el diseño, implementación y uso de adoquines peatonales en la ciudad de Arequipa. Es fundamental revisar las ordenanzas municipales vigentes para asegurar el cumplimiento local.

- Políticas Nacionales de Transporte Sostenible: Documentos de política que promueven el transporte sostenible y la movilidad no motorizada pueden proporcionar directrices y marcos de referencia para el desarrollo de proyectos.
- Normas Ambientales: Las leyes y regulaciones ambientales peruanas, incluyendo evaluaciones de impacto ambiental para proyectos de infraestructura, deben ser consideradas para asegurar la sostenibilidad y minimizar el impacto ambiental del proyecto.

## 2.3. Marco teórico

### 2.3.1. Adoquines

Los adoquines son bloques de piedra, concreto u otros materiales, generalmente de forma rectangular, utilizados para pavimentar calles, aceras, plazas y otros espacios exteriores. Estos bloques suelen ser más pequeños que las losas convencionales y se disponen de manera que formen un patrón uniforme o diseño en la superficie pavimentada. Los adoquines son populares por su durabilidad, resistencia y estética (Jaimés, 2021).

El proceso de instalación de adoquines implica la colocación cuidadosa de cada bloque sobre una base de arena o grava, seguido de la compactación y el relleno de las juntas con arena fina. Esto proporciona una superficie resistente y permeable que permite el drenaje del agua, evitando acumulaciones y ayudando a prevenir problemas como charcos o inundaciones (Dávila, 2023).

Los adoquines se utilizan comúnmente en áreas urbanas, parques, calles peatonales y otros lugares donde se busca crear un ambiente agradable y funcional. Además de su función práctica, los adoquines también ofrecen oportunidades para diseños creativos y patrones decorativos, lo que los convierte en una opción versátil para el revestimiento de superficies exteriores (Ayala & Machuca, 2022).

### 2.3.2. *Adoquines peatonales*

Los adoquines peatonales son bloques pavimentados diseñados específicamente para áreas destinadas al tránsito de peatones. Estos adoquines son una opción popular para pavimentar aceras, plazas, parques, zonas peatonales en centros urbanos y cualquier lugar donde se espera una circulación principalmente de personas en lugar de vehículos (Ayala & Machuca, 2022).

De acuerdo con Jaimes (2021), algunas características comunes de los adoquines peatonales incluyen:

1. **Tamaño y forma:** Suelen tener dimensiones más pequeñas en comparación con los adoquines utilizados para pavimentar calles, lo que facilita su colocación en áreas peatonales.
2. **Superficie antideslizante:** Los adoquines peatonales a menudo tienen una superficie texturizada o tratada para proporcionar mayor adherencia y reducir el riesgo de resbalones y caídas, especialmente en condiciones climáticas adversas.
3. **Diseños decorativos:** Aunque la funcionalidad es clave, los adoquines peatonales también pueden ser elegidos por sus cualidades estéticas. Pueden estar disponibles en una variedad de colores, formas y patrones para crear diseños atractivos.
4. **Facilidad de reparación:** Dado que las áreas peatonales no están sometidas a las mismas tensiones que las calles utilizadas por vehículos, los adoquines peatonales suelen ser más fáciles de reparar o reemplazar en caso de daños.

La elección de adoquines peatonales no solo mejora la estética de las áreas urbanas, sino que también contribuye a crear entornos más accesibles y seguros para los peatones.

### 2.3.3. *Tereftalato de polietileno (PET)*

El tereftalato de polietileno, comúnmente conocido por su acrónimo PET, es un polímero termoplástico ampliamente utilizado en la fabricación de envases, especialmente

botellas para bebidas y alimentos. El PET es un tipo de polímero de poliéster y se produce mediante la polimerización de tereftalato de etileno y glicol de etileno (Ayala & Machuca, 2022).

Aquí hay algunas características y aplicaciones importantes del tereftalato de polietileno (PET) (Sierra et al., 2020):

1. **Transparencia y claridad:** El PET es conocido por su transparencia y claridad, lo que lo hace ideal para envases de productos que requieren visibilidad, como bebidas gaseosas, agua embotellada y otros líquidos
2. **Ligereza y resistencia:** El PET es un material liviano pero al mismo tiempo resistente, lo que lo convierte en una opción popular para envases que deben ser duraderos pero no agregar demasiado peso, como en el caso de las botellas de agua y refrescos.
3. **Reciclabilidad:** El PET es altamente reciclable, y muchos sistemas de gestión de residuos aceptan envases de PET para su reciclaje. Los productos reciclados de PET se utilizan en una variedad de aplicaciones, como fibra para ropa, alfombras y envases secundarios.
4. **Barrera a gases y humedad:** El PET tiene propiedades de barrera efectivas contra gases y humedad, lo que ayuda a preservar la frescura de los productos envasados y a prolongar su vida útil.
5. **Procesabilidad:** El PET es fácil de procesar mediante diferentes métodos de fabricación, como el moldeo por soplado para la producción de botellas y el termoformado para envases más rígidos.

A pesar de sus muchas ventajas, es importante abordar los problemas ambientales asociados con el uso excesivo de plásticos, incluido el PET. La gestión adecuada de los

residuos y el fomento de prácticas de reciclaje son esenciales para minimizar el impacto ambiental de este material.

#### **2.3.4. Caucho reciclado**

El caucho reciclado se refiere a productos fabricados a partir de materiales de caucho recuperados y reciclados. Estos materiales pueden incluir neumáticos usados, productos de caucho desechados y otros elementos de caucho que de otro modo podrían terminar en vertederos. El reciclaje de caucho tiene beneficios ambientales al reducir la cantidad de residuos y promover la reutilización de recursos (Flores, 2021).

Características y aplicaciones:

Las características del caucho reciclados son (Balboa & Mateo, 2021):

1. **Sostenibilidad:** El uso de caucho reciclado contribuye a la sostenibilidad al darle una segunda vida a los productos de caucho desechados, evitando así la acumulación de residuos.
2. **Productos finales variados:** El caucho reciclado se utiliza para fabricar una amplia gama de productos, que pueden incluir pavimentos para parques infantiles, alfombras, suelas de zapatos, aislamiento acústico, pavimentos deportivos, entre otros.
3. **Durabilidad:** A menudo, el caucho reciclado conserva las propiedades del caucho original, como la durabilidad y la resistencia, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones.
4. **Reducción de costos:** El uso de caucho reciclado en la fabricación de productos puede ser más económico en comparación con la producción de materiales a partir de materias primas vírgenes.

5. Reducción de la demanda de recursos naturales: Al reutilizar caucho en lugar de depender exclusivamente de materias primas, se reduce la presión sobre los recursos naturales y se limita la extracción adicional de caucho.
6. Contribución a la economía circular: Incorporar caucho reciclado en la cadena de suministro ayuda a cerrar el ciclo de vida de los productos y promover la economía circular.

El caucho reciclado es una alternativa valiosa que aborda problemas ambientales al tiempo que ofrece beneficios en términos de sostenibilidad y eficiencia económica. Su versatilidad permite su aplicación en una amplia variedad de productos.

### **2.3.5. Reciclado**

El reciclado es el proceso mediante el cual los materiales utilizados se recolectan, procesan y transforman para ser reutilizados en la fabricación de nuevos productos. Este enfoque se centra en reducir la cantidad de residuos, conservar recursos naturales y disminuir el impacto ambiental asociado con la producción de nuevos materiales a partir de materias primas virgen (Hurtado, 2018).

Los pasos comunes del proceso de reciclado son (Jaimes, 2021):

1. Recolección: Los materiales reciclables, como papel, cartón, plástico, vidrio y metales, se recogen de los hogares, empresas u otras fuentes de generación.
2. Clasificación: Los materiales recogidos se clasifican en función de su tipo. Este proceso puede implicar la separación de los diferentes tipos de plástico, vidrio de diferentes colores, papel y cartón, etc.
3. Procesamiento: Los materiales clasificados se llevan a instalaciones de reciclado donde se someten a procesos específicos según su tipo. Esto puede incluir trituración, lavado, fusión, descomposición química u otros métodos para convertirlos en materias primas utilizables.

4. Fabricación: Las materias primas recicladas se utilizan para fabricar nuevos productos. Por ejemplo, el papel reciclado puede convertirse en cartón, el plástico reciclado en envases, o el vidrio reciclado en botellas.
5. Distribución y venta: Los productos fabricados a partir de materiales reciclados se distribuyen y se ponen a la venta para su uso en el mercado.

De igual manera las ventajas del reciclado son (Jaimes, 2021):

1. Conservación de recursos: El reciclado reduce la necesidad de utilizar materias primas vírgenes, conservando así recursos naturales.
2. Reducción de residuos: Disminuye la cantidad de desechos enviados a vertederos, lo que ayuda a aliviar la presión sobre los espacios de eliminación de residuos.
3. Ahorro de energía: La fabricación con materiales reciclados a menudo requiere menos energía en comparación con la producción a partir de materias primas nuevas.
4. Menor impacto ambiental: Reducir la extracción de recursos naturales y disminuir la cantidad de residuos contribuye a la sostenibilidad ambiental.
5. Estímulo económico: La industria del reciclado puede generar empleo y contribuir a la economía local.

El reciclado es un componente esencial para abordar los desafíos ambientales y promover prácticas más sostenibles en la gestión de residuos y recursos.

### **2.3.6. Criterios básicos para la fabricación de adoquines peatonales**

La fabricación de adoquines peatonales implica la consideración de varios criterios básicos para asegurar la calidad, la durabilidad y la seguridad del producto. Aquí se presentan algunos de los criterios fundamentales (Dávila, 2023):

1. Material de calidad: Utilizar materiales de alta calidad es esencial para garantizar la durabilidad y resistencia de los adoquines. Entre los materiales comunes se encuentran el concreto, la piedra natural o artificial, y otros materiales resistentes.
2. Resistencia al desgaste: Los adoquines peatonales deben ser capaces de resistir el desgaste causado por la circulación peatonal constante. Seleccionar materiales resistentes y duraderos es crucial para asegurar una larga vida útil del pavimento.
3. Superficie antideslizante: Para garantizar la seguridad de los peatones, especialmente en condiciones climáticas adversas, es importante que los adoquines tengan una superficie antideslizante. Esto ayuda a prevenir accidentes por resbalones.
4. Dimensiones uniformes: Los adoquines deben tener dimensiones uniformes para facilitar su instalación y crear una superficie pavimentada uniforme. Esto también contribuye a un diseño visualmente agradable.
5. Interconexión adecuada: La forma en que los adoquines se interconectan o se colocan juntos es esencial para mantener la estabilidad de la superficie. Un buen sistema de interconexión asegura que los adoquines permanezcan en su lugar y soporten las cargas adecuadamente.
6. Facilidad de instalación: Los adoquines peatonales deben ser diseñados para una instalación fácil y eficiente. Esto no solo reduce los costos laborales, sino que también facilita la reparación o sustitución de adoquines individuales si es necesario.
7. Permeabilidad: En algunas situaciones, la permeabilidad puede ser un criterio importante para permitir el drenaje del agua. Los adoquines permeables son beneficiosos para evitar problemas de acumulación de agua y mejorar la gestión del agua en áreas pavimentadas.

8. Colores y diseños atractivos: Además de cumplir con los requisitos funcionales, los adoquines peatonales también deben ser visualmente atractivos. La variedad de colores y diseños disponibles permite personalizar el entorno y mejorar la estética urbana.

Al adherirse a estos criterios básicos, los fabricantes pueden producir adoquines peatonales que cumplen con estándares de calidad y seguridad, proporcionando superficies pavimentadas duraderas y agradables para los peatones.

### **2.3.7. Viabilidad de adoquines con caucho reciclado y PET**

La viabilidad de fabricar adoquines peatonales con caucho reciclado y Tereftalato de polietileno (PET) dependerá de varios factores, incluidos los aspectos técnicos, económicos y medioambientales. Aquí se analizan algunos puntos clave (Ayala & Machuca, 2022):

#### **1. Propiedades del material:**

- Caucho reciclado: El caucho reciclado, proveniente de neumáticos usados u otros productos de caucho reciclados, puede proporcionar propiedades elásticas y antideslizantes deseables para adoquines peatonales.
- Tereftalato de polietileno (PET): El PET reciclado, comúnmente utilizado en envases de plástico, puede agregar resistencia y durabilidad al producto final.

#### **2. Características del producto:**

- Es importante garantizar que la combinación de caucho reciclado y PET cumpla con los requisitos de resistencia al desgaste, antideslizamiento y durabilidad necesarios para adoquines peatonales.
- Se deben realizar pruebas de laboratorio y evaluaciones para confirmar que el material cumple con los estándares de calidad y seguridad.

3. Proceso de fabricación:

- Se debe desarrollar un proceso de fabricación eficiente que permita la mezcla homogénea de caucho reciclado y PET.
- La fabricación debería ser económicamente viable y cumplir con los estándares de producción.

4. Costos:

- La disponibilidad y los costos de los materiales, especialmente del caucho reciclado y el PET reciclado, deben evaluarse para determinar la viabilidad económica.
- Es importante comparar los costos totales de fabricación con los de otras alternativas de adoquines.

5. Sostenibilidad:

- El uso de materiales reciclados contribuirá a la sostenibilidad ambiental, reduciendo la cantidad de residuos y la demanda de materias primas vírgenes.
- Se debe evaluar y comunicar claramente el impacto ambiental positivo de la producción y el uso de estos adoquines.

6. Regulaciones y estándares:

- Cumplir con las regulaciones y estándares de calidad aplicables es crucial para la aceptación y la seguridad del producto.
- Los adoquines deben cumplir con las normativas locales e internacionales relacionadas con productos de construcción.

7. Mercado y aceptación:

- Es importante evaluar la aceptación del mercado y la demanda potencial de adoquines peatonales fabricados con estos materiales.

- La promoción de beneficios, como la sostenibilidad y la reducción de residuos, puede influir en la elección de estos productos por parte de clientes y municipios.

En resumen, la viabilidad de fabricar adoquines peatonales con caucho reciclado y PET depende de la capacidad para satisfacer requisitos técnicos, mantener la viabilidad económica y ofrecer un producto sostenible y atractivo para el mercado. Una cuidadosa planificación, pruebas y evaluaciones son esenciales para el éxito de este tipo de iniciativas.





## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA PROPUESTA

#### 3.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental, ya que se realiza en un entorno controlado donde la variable independiente es manipulada intencionalmente para observar su efecto sobre la variable dependiente. De igual manera se denomina cuasiexperimental porque no se cuenta con una asignación aleatoria completa de los participantes o muestras a los diferentes grupos de estudio, lo que es característico de los diseños experimentales puros. Este tipo de diseño permite controlar variables externas y analizar relaciones de causa y efecto en situaciones donde la aleatorización no es posible, facilitando así la evaluación del impacto de la variable independiente en contextos prácticos y reales (Arias, 2020).

Consistiendo principalmente en diseñar el proceso de la elaboración de adoquines de uso peatonal, utilizando residuos de caucho y tereftalato de polietileno (PET), como componentes adicionales, y evaluando sus propiedades físico-químicas mediante análisis de laboratorio de la variable dependiente.

**Tabla 2.**

Cuadro de variables

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Instrumentos
<b>Propiedades físico-mecánicas de adoquines</b>	Características físicas y mecánicas que determinan el comportamiento y la resistencia de los adoquines fabricados con caucho reciclado y PET.	1. Resistencia a la compresión.	1. Carga máxima soportada antes de la rotura.	1. Escala de razón (carga en kN).	1. Máquina de ensayo.
<b>Caucho reciclado y PET en adoquines</b>	Materiales adicionales utilizados en la fabricación de adoquines, donde el caucho reciclado y el tereftalato de polietileno (PET) son incorporados en la mezcla del material.	1. Proporción de caucho reciclado.  2. Proporción de PET.	1. Porcentaje de caucho reciclado en la mezcla.  2. Porcentaje de PET en la mezcla.	Escala de razón (porcentaje)	Formulación de la mezcla

Nota. Elaboración propia

El número de ensayos para la investigación de adoquines de concreto con adiciones de PET y caucho reciclado se ha determinado en base a las normativas internacionales y nacionales que guían la realización de ensayos para productos de construcción. En este caso, se consideraron las normas UNE-EN 1338:2004 y NTP 339.130, las cuales proporcionan pautas claras para el muestreo y la cantidad de ensayos necesarios para evaluar la calidad y las características físicas y mecánicas de los adoquines.

**Normas técnicas utilizadas:**

- UNE-EN 1338:2004: Esta norma europea es de aplicación en los adoquines de hormigón y establece requisitos tanto para los ensayos físicos como para los métodos de medición que aseguran la calidad del producto final. Se incluye la evaluación de resistencia a la compresión. La norma también especifica que los ensayos deben realizarse de manera repetitiva para

asegurar la confiabilidad estadística (UNE-EN, 2004).

- NTP 339.130: Esta Norma Técnica Peruana establece los parámetros técnicos mínimos para los adoquines de concreto, entre ellos, la cantidad mínima de ensayos y las condiciones para su aceptación en cuanto a características dimensionales, resistencia mecánica y durabilidad (NTP, 1999).
- INTE CTN 06: “Adoquines de concreto para pavimentos – Especificaciones” Norma técnica de Costa Rica, que tiene por objeto establecer las características y especificaciones que deben cumplir los adoquines de concreto de cemento hidráulico empleados para tráfico vehicular y peatonal (INTE, 2019).

#### **Determinación del número de ensayos:**

En base a las normativas anteriores y considerando la necesidad de obtener una confiabilidad del 95% en los resultados, se seleccionó un número de ensayos adecuado para cubrir todas las posibles variaciones de las propiedades del material bajo diferentes combinaciones de PET y caucho reciclado. Según las directrices de la UNE-EN 1338:2004, se estipula que para cada tipo de ensayo se debe realizar un número mínimo de 3 repeticiones para obtener resultados estadísticamente confiables, garantizando así una estimación precisa de las propiedades del adoquín.

#### **Distribución de ensayos:**

El diseño de la tabla de muestra de la investigación, basada en un total de 180 muestras (30 muestras por cada combinación de proporciones de PET y caucho reciclado), está estructurado de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Resistencia a la Compresión: 3 ensayos adicionales para cada combinación de aditivos, resultando en un total de 30 ensayos por experimento.

La repetibilidad de estos ensayos permite evaluar con precisión la variabilidad del material y asegurar que se cumplan las normas de calidad establecidas por las normativas UNE-EN 1338:2004 y NTP 339.130.

#### **Número de ensayos en relación a la confiabilidad estadística:**

De acuerdo con la norma UNE-EN 1338:2004, el número total de ensayos se calcula considerando un nivel de confiabilidad del 95% y un margen de error aceptable para obtener un resultado representativo del comportamiento del adoquín con PET y caucho reciclado. El tamaño de la muestra de 30 ensayos por cada propiedad asegura que el error estándar sea pequeño, lo que garantiza que los resultados sean representativos del comportamiento general del material sin ser excesivamente costosos o difíciles de realizar.

Este número también es respaldado por estudios previos en el campo de los materiales de construcción, como los estudios de Dávila (2023) y Bernedo y Nina (2020), que señalan que un tamaño de muestra superior a 20 ensayos es adecuado para obtener una distribución confiable de los resultados.

Con base en las normativas UNE-EN 1338:2004, NTP 339.130 e INTE CTN 06 “Adoquines de concreto para pavimentos – Especificaciones” de Costa Rica y considerando los criterios estadísticos para alcanzar una confiabilidad del 95%, el número de ensayos realizados (180) es adecuado y suficiente para garantizar la precisión de los resultados obtenidos para las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines fabricados con PET y caucho reciclado. Este enfoque asegura que los resultados de la investigación sean válidos, confiables y aplicables a las condiciones de uso real del producto final.

### 3.2. Métodos de investigación

La siguiente tabla muestra los métodos de investigación:

**Tabla 3.**

Método de investigación

Objetivo	Procedimiento	Normas Aplicables
Determinar las propiedades físico-mecánicas de adoquines peatonales utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).	Fabricación de adoquines peatonales incorporando caucho reciclado y PET en diferentes proporciones. Evaluación de propiedades físicas y mecánicas mediante pruebas específicas.	UNE-EN 1338:2004 UNE-EN 1338:2004/AC: 2006 NTP 339.130 (Norma Técnica Peruana para adoquines de concreto)
OE1. Determinar la resistencia a la compresión, de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).	Realización de ensayos de compresión en adoquines fabricados, midiendo la carga máxima soportada antes de la rotura.	UNE-EN 1338:2004 NTP 339.130
OE2. Describir las características de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET)	Descripción de los resultados alcanzados para las propiedades físicas y mecánicas evaluadas en los adoquines peatonales diseñados utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).	NTP 339.130

Nota. Elaboración propia

#### Metodología:

La metodología para este estudio involucra varias etapas clave:

1. Revisión bibliográfica y análisis de estudios previos: Se realizará una exhaustiva revisión de la literatura científica y técnica relacionada con la utilización de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en la fabricación de adoquines peatonales. Esto incluye la recopilación de investigaciones sobre formulaciones, procesos de producción, propiedades mecánicas, durabilidad y aspectos ambientales asociados.

2. Selección de materiales y diseño experimental: Basado en la revisión bibliográfica, se seleccionaron las formulaciones más prometedoras de adoquines que incorporen caucho reciclado y PET. Se diseñaron experimentos para evaluar diferentes proporciones de estos materiales, así como variables de proceso, como temperatura de mezclado y tiempo de curado.
3. Producción de prototipos y caracterización: Se fabricaron prototipos de adoquines según los diseños experimentales establecidos. Posteriormente, se llevó a cabo una caracterización detallada de los adoquines.
4. Análisis de costos y evaluación económica: Se realizó un análisis detallado de los costos asociados con la producción de adoquines utilizando materiales reciclados. Esto incluye la evaluación de los costos de materias primas, mano de obra, energía y equipos.
5. Evaluación del impacto ambiental: Se llevó a cabo una evaluación del impacto ambiental de la producción y uso de adoquines fabricados con materiales reciclados, considerando aspectos como la reducción de emisiones de carbono, el ahorro de recursos naturales y la disminución de residuos plásticos.
6. Análisis de datos y elaboración de recomendaciones: Se analizaron los datos obtenidos de todas las etapas del estudio para identificar tendencias, establecer conclusiones y elaborar recomendaciones específicas para la implementación de adoquines fabricados con materiales reciclados en Arequipa.

Para la realización de los experimentos se utilizó ANOVA y la prueba post hoc de Tukey, realizando los siguientes ensayos:

**Tabla 4.**

Pruebas de investigación

Id del Ensayo	% PET	% Caucho Reciclado	Objetivos Específicos a Evaluar
1	2%	5%	Resistencia a la compresión.
2	2%	10%	Resistencia a la compresión.
3	2%	15%	Resistencia a la compresión.
4	4%	5%	Resistencia a la compresión.
5	4%	10%	Resistencia a la compresión.
6	4%	15%	Resistencia a la compresión.
7	6%	5%	Resistencia a la compresión.
8	6%	10%	Resistencia a la compresión.
9	6%	15%	Resistencia a la compresión.

Nota. Elaboración propia

Para realizar el experimento se deben realizar los siguientes pasos:

**Paso 1:** Preparación de muestras: Para cada ensayo, se fabricaron adoquines utilizando las proporciones especificadas de PET y caucho reciclado. Es crucial garantizar que todas las muestras tengan dimensiones uniformes y sean curadas bajo las mismas condiciones para mantener la consistencia.

**Paso 2:** Realización de ensayos: Cada muestra se sometió a pruebas para determinar su resistencia a la compresión. Se deben seguir protocolos de ensayo estandarizados para cada propiedad.

Para llevar a cabo la investigación sobre el uso de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) como adiciones en la fabricación de adoquines peatonales en Arequipa en el año 2024, se requirieron diversos equipos y materiales de laboratorio. Aquí se especifica su uso según los objetivos de investigación y las pruebas correspondientes:

**Objetivo de Investigación 1: Determinar la resistencia a la compresión**

**Equipos y Materiales necesarios:**

1. Molde para la fabricación de adoquines.

2. Mezcladora para preparar las mezclas de caucho reciclado, PET y otros componentes.
3. Prensa de compresión para realizar los ensayos.
4. Normas NTP 399.611 para ensayos de compresión.
5. Balanza de precisión.

**Procedimiento de laboratorio:**

1. Preparar las mezclas con diferentes proporciones de caucho reciclado y PET.
2. Verter la mezcla en el molde y compactar.
3. Realizar los ensayos de compresión siguiendo las normas NTP 399.611 (NTP, 2017).
4. Registrar la carga máxima soportada y calcular la resistencia a la compresión.

**Procedimiento de laboratorio:**

1. Acondicionar las muestras con superficies uniformes.
2. Realizar un ensayo de abrasión según la norma aplicable.
3. Medir la cantidad de material desgastado por pérdida de peso.

**Objetivo General: Determinar la fórmula óptima de la composición de los adoquines**

**Equipos y materiales necesarios:**

1. Software estadístico para análisis de datos y diseño de experimentos (DOE).

**Procedimiento de laboratorio:**

1. Utilizar los datos de los ensayos anteriores para realizar un análisis estadístico y diseño de experimentos.
2. Aplicar métodos de optimización para encontrar la composición balanceada.
3. Validar la composición óptima fabricando y ensayando adoquines adicionales.

### Cantidad de adoquines necesarios:

El conjunto de datos analiza las propiedades físicas de adoquines peatonales fabricados con diferentes porcentajes de tereftalato de polietileno (PET) y caucho reciclado. Cada ensayo evalúa la resistencia al desgaste por abrasión, resistencia a la resistencia a la compresión en mezclas que varían entre 0% y 6% de PET y entre 0% y 15% de caucho reciclado, con mediciones realizadas en los días 7, 14 y 28 después de la fabricación.

Los resultados muestran que, independientemente de las proporciones de PET y caucho reciclado utilizados, los valores para cada propiedad permanecen constantes a lo largo del tiempo, con valores de 3, 3 y 3 respectivamente en todos los ensayos y para cada día de medición. Donde se fabricarán un total de 90 adoquines en todo el experimento.

**Tabla 5.**

*Muestra para la investigación*

% PET	% Caucho reciclado	Resistencia a la resistencia a la compresión.			Total
		7	14	28	
0%	0%	3	3	3	9
2%	5%	3	3	3	9
2%	10%	3	3	3	9
2%	15%	3	3	3	9
4%	5%	3	3	3	9
4%	10%	3	3	3	9
4%	15%	3	3	3	9
6%	5%	3	3	3	9
6%	10%	3	3	3	9
6%	15%	3	3	3	9
Total		30	30	30	90

Nota. Elaboración propia

### Paso 3:

Análisis de datos: Los resultados de los ensayos se analizaron mediante ANOVA y la prueba de Tukey para evaluar el efecto de las proporciones de PET y caucho reciclado en las propiedades de los adoquines. Se buscará identificar cualquier patrón o combinación

óptima que mejore las propiedades deseadas. El experimento se desarrollará de la siguiente forma (Miller & Freund, 2021):

**Tabla 6.**

*Análisis estadístico mediante la prueba ANOVA y Tukey*

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (df)	Media Cuadrática (MS)	Valor F	Significancia (P-valor)
Entre grupos (PET)	SS(PET)	df (PET) = k - 1	MS(PET) = SS(PET)/df(PET)	F(PET) = MS(PET)/MS(E)	P(PET)
Entre grupos (Caucho)	SS(Caucho)	df(Caucho) = k - 1	MS(Caucho) = SS(Caucho)/df(Caucho)	F(Caucho) = MS(Caucho)/MS(E)	P(Caucho)
Interacción PET*Caucho	SS(Interacción)	df(Interacción) = (k - 1)^2	MS(Interacción) = SS(Interacción)/df(Interacción)	F(Interacción) = MS(Interacción)/MS(E)	P(Interacción)
Error (dentro de grupos)	SS(E)	df(E) = n - k	MS(E) = SS(E)/df(E)	-	-
Total	SS(Total)	df(Total) = n - 1	-	-	-

Nota. Elaboración propia

k: Número de niveles para cada factor.

n: Número total de observaciones (en este caso, el número total de adoquines testados).

Dado que se enlazarán tres propiedades principales a evaluar (resistencia a la compresión), y cada adoquín fabricado será utilizado para un tipo de ensayo, necesitarás multiplicar el número total de combinaciones por el número de replicaciones y luego por el número de tipos de ensayos realizados.

Por lo tanto, para llevar a cabo los tres experimentos con la adecuada replicación y fiabilidad estadística, necesitarías fabricar un total de 90 adoquines, asumiendo que cada adoquín se usa para un solo tipo de prueba.

Esquema conceptual para el estudio sobre la integración de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en la fabricación de adoquines peatonales en Arequipa en 2024:

### **1. Revisión bibliográfica:**

- Estudios previos sobre el uso de materiales reciclados en adoquines.
- Tecnologías y procesos de producción relevantes.
- Impacto ambiental y económico de la producción de adoquines.

### **2. Selección de materiales y diseño experimental:**

- Identificación de formulaciones adecuadas de adoquines con caucho reciclado y PET.
- Diseño de experimentos para evaluar propiedades físicas y mecánicas.

### **3. Producción y caracterización de prototipos:**

- Fabricación de prototipos de adoquines según los diseños experimentales.
- Caracterización detallada de los adoquines mediante pruebas de laboratorio.

### **4. Análisis económico:**

- Evaluación de los costos de producción de los adoquines con materiales reciclados.
- Análisis del costo total del ciclo de vida y comparación con alternativas tradicionales.

### **5. Evaluación ambiental:**

- Estudio del impacto ambiental de la producción y uso de adoquines reciclados.
- Análisis de reducción de emisiones de carbono, ahorro de recursos y gestión de residuos.

### **6. Estudio de aceptación y percepción:**

- Encuestas y entrevistas para evaluar la aceptación del público y los actores relevantes.

- Identificación de barreras y oportunidades para la adopción de adoquines reciclados.

### 7. Análisis de datos y elaboración de recomendaciones:

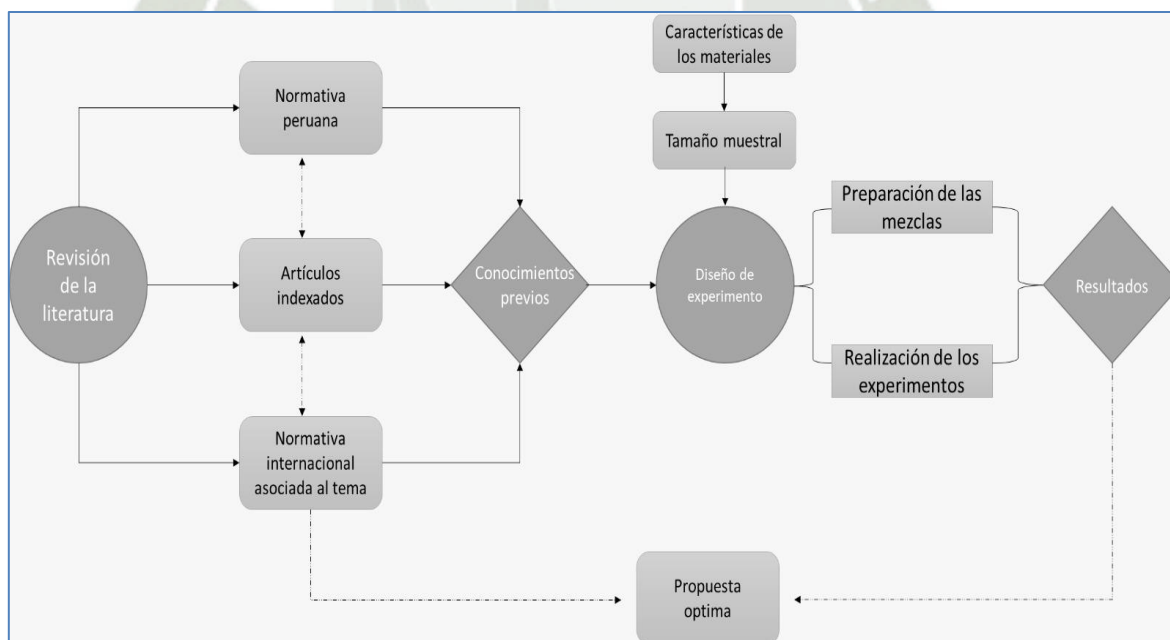
- Análisis de datos recopilados en todas las etapas del estudio.
- Conclusiones sobre la viabilidad técnica, económica, ambiental y social.
- Elaboración de recomendaciones para la implementación de adoquines reciclados en Arequipa.

Este esquema conceptual proporciona una visión general de las diferentes etapas del estudio y cómo se interrelacionan para abordar los objetivos planteados.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo para esquematizar los pasos de la investigación:

**Figura 1.**

*Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación*



Nota. Elaboración propia

### 3.3. Área de estudio

El estudio fue desarrollado en la ciudad de Arequipa.

### 3.4. Recolección de la información

Para llevar a cabo esta investigación, es crucial identificar las empresas y plantas de fabricación de adoquines en Arequipa que estén dispuestas a explorar el uso de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en sus productos. Se buscarán aquellos fabricantes que demuestren interés en innovaciones sostenibles y estén dispuestos a participar en el estudio. La selección de la muestra se realizará de manera estratégica para garantizar la representatividad de las prácticas y procesos de fabricación en la región.



- **Recopilación de datos:** La recopilación de datos implicará la realización de pruebas de laboratorio exhaustivas para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines con las adiciones de caucho reciclado y PET. Se llevarán a cabo ensayos específicos para medir la resistencia a la compresión. Además de las pruebas de laboratorio, se llevarán a cabo entrevistas con fabricantes, ingenieros y expertos de la industria para obtener información cualitativa sobre los procesos y las percepciones respecto a la integración de estos materiales reciclados.
- **Registro de datos y resultados:** Durante el proceso de recopilación de datos, se mantendrán registros detallados de todas las mediciones y observaciones realizadas en las pruebas de laboratorio y entrevistas. Estos registros proporcionarán una base sólida para el análisis posterior y asegurarán la transparencia y replicabilidad de la investigación. Los resultados obtenidos se organizarán de manera sistemática para facilitar su interpretación y comparación.
- **Análisis estadístico:** Una vez recopilados los datos, se aplicará un análisis estadístico riguroso para determinar la significancia de las diferencias entre los grupos de adoquines con y sin las adiciones de caucho reciclado y PET. Se utilizarán herramientas estadísticas apropiadas para identificar patrones, correlaciones y posibles variaciones en las propiedades de los adoquines. Este análisis permitirá evaluar de manera objetiva el impacto de la inclusión de materiales reciclados en la calidad y desempeño de los adoquines.

- **Interpretación de resultados:** Con los resultados obtenidos, se procederá a una cuidadosa interpretación de los hallazgos. Se evaluaron las implicaciones prácticas y teóricas de los datos, considerando la viabilidad técnica y económica de la implementación de caucho reciclado y PET en la fabricación de adoquines. La interpretación de los resultados también se enfocó en determinar si las adiciones cumplen con los estándares de calidad y sostenibilidad establecidos para garantizar la aceptación y eficacia de estas innovaciones en la industria de la construcción peatonal en Arequipa.

En relación a la procedencia de los agregados, estos fueron adquiridos en Hormigoneras del Sur, Cantera MTC KM 19 – VARIAT. UCHUMAYO, observándose las fichas técnicas de los agregados: Piedra 3/4” (anexo 4), arena gruesa (anexo 5) y certificado de granulometría y características de los agregados (anexo 6) para su revisión.



## CAPÍTULO IV

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Análisis granulométrico

#### 4.1.1. Agregado fino

**Tabla 7.**

*Análisis granulométrico del agregado fino*

PESO DE LA MUESTRA SECA ANTES DE LAVADO (g):		910,9 g		PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g):		895,2 g	
N° DE TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
N° 4	4,75	42,00	4,70	4,70	95,30	95,00	100,00
N° 8	2,36	86,00	9,63	14,33	85,67	80,00	100,00
N° 16	1,18	114,00	12,77	27,10	72,90	50,00	85,00
N° 30	0,6	134,00	15,01	42,11	57,89	25,00	60,00
N° 50	0,3	185,00	20,72	62,82	37,18	5,00	30,00
N° 100	0,15	272,00	30,46	93,28	6,72	0,00	10,00
N° 200	0,075	55,00	6,16	99,44	0,56	0,00	0,00
FONDO		5,00	0,56	93,84			
TOTAL		893,00	100,00				
MÓDULO DE FINURA:			2,44	% De Limo:		1,72%	
			2.3 < FM < 3.1				

Nota. Elaboración propia

La tabla 7 presenta el análisis granulométrico del agregado fino, mostrando la distribución de partículas en función del tamaño de tamiz utilizado. Se observa que el peso total retenido en los tamices es de 893 gramos, con un módulo de finura de 2.44, lo que clasifica el material como arena de finura media, ya que se encuentra dentro del rango  $2.3 < FM < 3.1$ .

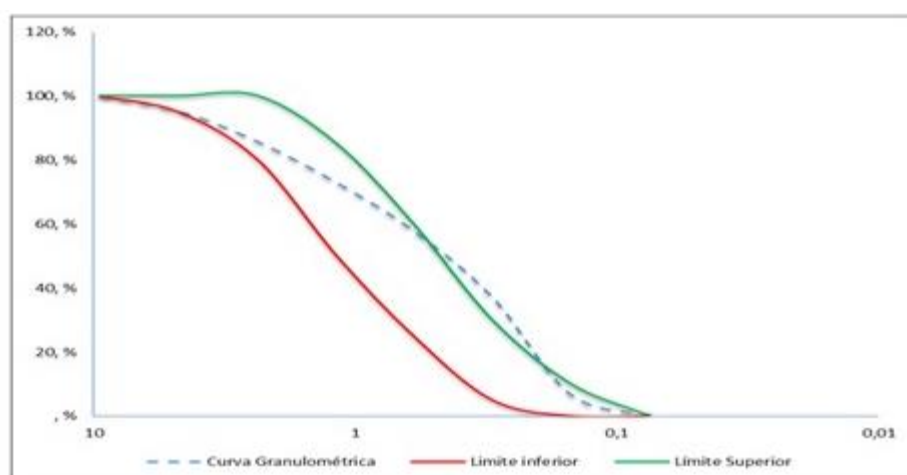
El porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 4 (4.75 mm) es del 95.3%, lo que indica que la mayoría del agregado fino está compuesto por partículas menores a este tamaño. A medida que el tamaño de la malla disminuye, el porcentaje acumulado retenido aumenta, con un 99.44% en el tamiz N° 200 (0.08 mm), lo que significa que solo el 0.56% del material pasa este tamiz, cumpliendo con los límites establecidos para el agregado fino.

Comparando los resultados con los límites establecidos, se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido, lo que indica que el agregado fino es

adecuado para su uso en construcción. Sin embargo, el porcentaje de limo es de 0.56%, lo que sugiere una presencia de partículas muy finas, lo que podría ayudar la trabajabilidad y la resistencia del concreto si no se controla adecuadamente.

### Figura 2.

Curva granulométrica del agregado fino



Nota. Elaboración propia

La figura 2 muestra la curva granulométrica del agregado fino, comparada con los límites superior e inferior establecidos para este tipo de material. La curva granulométrica, representada por una línea azul segmentada, indica la distribución de partículas en función del tamaño de abertura de los tamices utilizados en el análisis.

Se observa que la curva se encuentra dentro del rango delimitado por las líneas roja y verde, que representan los límites inferior y superior respectivamente. Esto indica que el agregado fino analizado cumple con los requisitos granulométricos establecidos, garantizando su idoneidad para su uso en aplicaciones de construcción.

La forma de la curva granulométrica sugiere una buena distribución de partículas, lo que puede contribuir a una mejor trabajabilidad del material en mezclas de concreto. Sin embargo, es importante considerar el alto porcentaje de partículas finas presentes, ya que

esto puede afectar la demanda de agua en la mezcla y, en consecuencia, la resistencia del concreto endurecido.

#### 4.1.2. Agregado grueso

**Tabla 8.**

*Análisis granulométrico del agregado grueso*

PESO DE LA MUESTRA SECA ANTES DE LAVADO (g):		980, g		PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g):		962, g	
N° DE TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO NUMERO	67
						LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1 1/2"	37,5	0,00	, %	, %	100, %	100 %	100 %
1"	25,4	0,00	, %	, %	100, %	90 %	100 %
3/4"	19,05	0,00	, %	, %	100, %	40 %	10,0 %
1/2"	12,7	403,00	42,07 %	42,07 %	57,93 %	10,0 %	40,0 %
3/8"	9,525	208,00	21,71 %	63,78 %	36,22 %	,0 %	15 %
N° 4	4,75	338,00	35,28 %	99,06 %	,9 %	,0 %	5,0 %
FONDO		9,00	,94 %	100, %			
TOTAL		958,00	100, %				
Tamaño máximo nominal:				<b>1/2 in</b>			
Tamaño Máximo:				<b>3/4 in</b>			

Nota. Elaboración propia

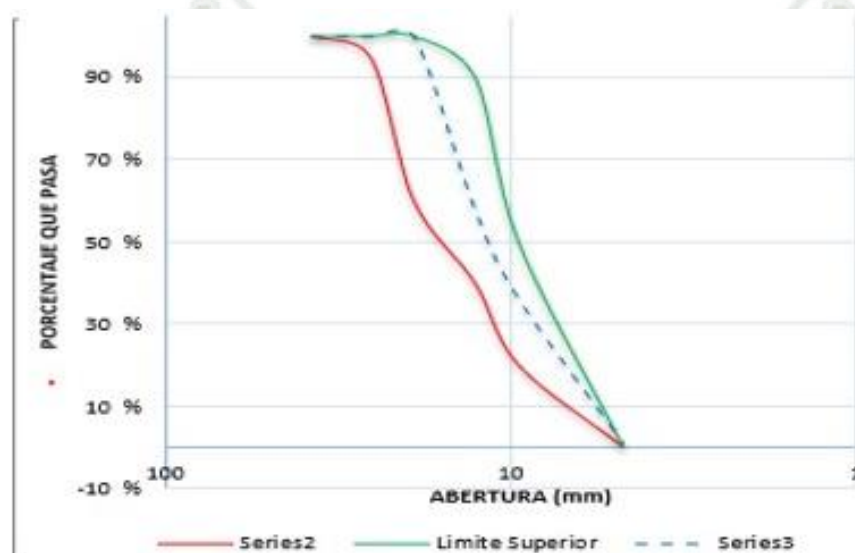
La tabla 8 presenta el análisis granulométrico del agregado grueso, en el cual se detallan los valores de peso retenido, porcentaje retenido, porcentaje retenido acumulado y porcentaje que pasa a través de cada tamiz. La muestra inicial y posterior al lavado mantiene un peso constante de 123 gramos, lo que indica que no hubo una pérdida significativa de material fino durante el proceso de tamizado.

Los resultados evidencian que el tamaño máximo nominal del agregado es de 1/2 pulgada, mientras que el tamaño máximo absoluto es de 3/4 de pulgada. Se observa que el material cumple parcialmente con los límites establecidos en el huso número 67, ya que en algunos tamices el porcentaje que pasa no se encuentra dentro del rango permitido. Por ejemplo, en el tamiz N° 4 (4,75 mm), el porcentaje que pasa es de 0,9 %, lo que está por debajo del límite inferior establecido en el huso 67 (5 %).

La distribución granulométrica del agregado grueso sugiere que este material podría generar una buena compactación en mezclas de concreto, aunque la presencia de un alto porcentaje de partículas en ciertos tamices puede influir en su trabajabilidad y requerimiento de agua. Es recomendable realizar ajustes en la proporción de agregados o verificar su adecuación en función de los requisitos específicos del diseño de mezcla.

**Figura 3.**

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota. Elaboración propia

La figura 3 representa la curva granulométrica del agregado grueso, comparando su distribución con los límites establecidos en la normativa. La curva granulométrica del agregado grueso (Serie 2) se encuentra representada en color rojo, mientras que los límites superiores de la norma están indicados en verde. Además, se incluye una serie adicional en color azul punteado (Serie 3), que puede estar relacionada con otra condición de referencia.

Se observa que la curva del agregado grueso presenta una variabilidad en su distribución de tamaños de partículas. En los tamices de mayor tamaño, el material retiene una cantidad considerable, disminuyendo progresivamente hasta los tamices más finos. Sin embargo, en ciertos puntos, la curva del agregado se desvía de los límites establecidos, lo

que sugiere que su granulometría podría requerir ajustes para cumplir con las especificaciones normativas.

La forma de la curva indica la proporción de partículas en diferentes rangos de tamaño. La irregularidad en algunos sectores sugiere que el material podría no tener una distribución óptima para garantizar una buena compactación en aplicaciones como concreto estructural. Si la curva se encuentra demasiado inclinada o presenta discontinuidades, puede afectar la trabajabilidad del concreto y su resistencia final.

En términos de análisis práctico, el material evaluado podría necesitar correcciones en la dosificación o una combinación con otro agregado de diferente granulometría para mejorar su desempeño en mezclas de concreto. Se recomienda comparar estos resultados con los parámetros de diseño para garantizar su idoneidad en la aplicación específica.

## 4.2. Peso específico y absorción de los agregados

### 4.2.1. Agregado fino

**Tabla 9.**

*Peso específico y absorción del agregado fino*

Referencias normativas:	MTC E 205 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS
NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino.	
Peso del Material Saturado con Superficie Seca ó Pesss (g)	511
Peso del Frasco + Agua (g)	637,9
Peso de la muestra + Agua + Peso del Frasco (g)	946
Peso de Muestra Seca en Estufa u Horno (g)	482
Peso específico de masa (Pe):	2,38 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa saturado con superficie seca Pesss:	2,46 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente:	2,61 g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción del Agregado ó Ab (%)</b>	<b>3,73%</b>

Nota. Elaboración propia

La tabla 9 muestra los valores obtenidos para el peso específico y absorción del agregado fino, parámetros fundamentales en el diseño de mezclas de concreto. Se determinó que el peso específico de masa (Pe) del agregado fino es 2,38 g/cm<sup>3</sup>, lo que indica su

densidad en estado natural. Asimismo, el peso específico de masa saturado con superficie seca (Pesss) es de  $2,46 \text{ g/cm}^3$ , valor que representa la densidad del agregado cuando se encuentra completamente saturado, pero sin exceso de agua en la superficie. El peso específico aparente, que considera el volumen total del material incluyendo los poros internos no accesibles al agua, es  $2,61 \text{ g/cm}^3$ .

Por otro lado, la absorción del agregado fino es 3,73%, lo que indica la cantidad de agua que puede retener en su estructura interna. Este valor es crucial en el diseño de mezclas de concreto, ya que permite ajustar la cantidad de agua de amasado para evitar variaciones en la relación agua/cemento, lo que podría afectar la resistencia y trabajabilidad del concreto. Un porcentaje de absorción elevado sugiere que el agregado posee una mayor porosidad, lo que puede influir en su comportamiento dentro de la mezcla y en la durabilidad de la estructura final.

#### 4.2.2. Agregado grueso

**Tabla 10.**

*Peso específico y absorción del agregado grueso*

Referencias normativas:	MTC E 206 - PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS
NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (g)	1400
Peso en el agua de la muestra saturada (g)	800
Peso de la muestra seca en el aire (g)	1384,5
Peso Específico de masa (Pe):	2,31 $\text{g/cm}^3$
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS):	2,33 $\text{g/cm}^3$
Peso específico aparente (Pea):	2,37 $\text{g/cm}^3$
<b>Absorción del Agregado ó Ab (%)</b>	<b>1,12%</b>

Nota. Elaboración propia

La figura 10 presenta los valores obtenidos para el peso específico y absorción del agregado grueso, parámetros esenciales para el diseño y control de calidad de mezclas de concreto. Se determinó que el peso específico de masa (Pe) del agregado grueso es 2,31

$\text{g/cm}^3$ , lo que indica su densidad en estado natural. Asimismo, el peso específico de masa saturado con superficie seca (PeSSS) es de  $2,33 \text{ g/cm}^3$ , valor que representa la densidad del agregado cuando se encuentra completamente saturado, pero sin agua en la superficie. El peso específico aparente (Pea), que considera el volumen total del material incluyendo los poros internos no accesibles al agua, es  $2,37 \text{ g/cm}^3$ .

Por otro lado, la absorción del agregado grueso es 1,12%, lo que indica la cantidad de agua que el material puede retener en su estructura interna. Este valor es crucial en el diseño de mezclas de concreto, ya que permite ajustar la cantidad de agua de amasado para evitar cambios en la relación agua/cemento, los cuales podrían afectar la resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto. Un bajo porcentaje de absorción, como el registrado en este caso, sugiere que el agregado posee una estructura más densa y menos porosa, lo que puede contribuir a una mayor resistencia mecánica y menor susceptibilidad a la degradación por absorción de humedad.

### 4.3. Peso unitario y vacío de los agregados

#### 4.3.1. Agregado fino

**Tabla 11.**

*Peso unitario y vacío del agregado fino varillado*

N° de ensayo	Pt: peso del molde + agregado (g)	Pm: peso del molde (g)	Pa: peso del agregado (g)
1	6801,00	1647,00	5154,00
2	6807,00	1647,00	5160,00
3	6805,00	1647,00	5158,00
4	6802,00	1647,00	5155,00
5	6804,00	1647,00	5157,00
<b>Promedio de PA</b>			<b>5156,80</b>

Nota. Elaboración propia

En la tabla 11 se presentan los resultados del ensayo para determinar el peso unitario y el vacío del agregado fino varillado. En los cinco ensayos realizados, se observa que el

peso del molde más el agregado (PT) varió ligeramente entre 6801,00 g y 6807,00 g, con un promedio de 6803,00 g. El peso del molde (PM) se mantuvo constante en 1647,00 g en todos los ensayos. El peso del agregado (PA), que es la diferencia entre PT y PM, fluctuó entre 5154,00 g y 5160,00 g, con un promedio de 5156,80 g.

El promedio del peso del agregado fino varillado muestra una consistencia en los resultados obtenidos, lo que indica que el proceso de muestreo y ensayo fue controlado y replicable. El pequeño margen de variación en los resultados es un indicativo de la homogeneidad del material utilizado en la fabricación de los adoquines. Este tipo de análisis es crucial para entender las propiedades físicas del agregado, las cuales influirán directamente en la resistencia y durabilidad del adoquín, especialmente cuando se utilizan adiciones como el caucho reciclado y el tereftalato de polietileno (PET).

**Tabla 12.**

*Peso unitario y vacío del agregado fino suelto*

Nº de ensayo	Pt: peso del molde + agregado (g)	Pm: peso del molde (g)	Pa: peso del agregado (g)
1	6089,00	1647,00	4442,00
2	6095,00	1647,00	4448,00
3	6041,00	1647,00	4394,00
4	6029,00	1647,00	4382,00
5	6056,00	1647,00	4409,00
<b>Promedio de PA</b>			<b>4415,00</b>

Nota. Elaboración propia

En la tabla 12 se muestran los resultados del ensayo realizado para determinar el peso unitario y el vacío del agregado fino suelto. El peso del molde más el agregado (PT) presenta una ligera variación entre 6029,00 g y 6095,00 g, con un promedio de 6052,00 g. El peso del molde (PM) permanece constante en 1647,00 g para todos los ensayos. El peso del agregado (PA), calculado restando el peso del molde al peso total, varía entre 4382,00 g y 4448,00 g, alcanzando un promedio de 4415,00 g.

El promedio obtenido para el peso del agregado fino suelto muestra una homogeneidad en los ensayos, lo que indica un material relativamente consistente en cuanto a su densidad y compactación. La ligera variación en el peso del agregado puede atribuirse a las características intrínsecas del material suelto y a factores como la distribución del tamaño de partícula o el grado de humedad. Estos datos son relevantes al momento de incorporar aditivos como el caucho reciclado y el PET en la fabricación de adoquines, ya que el comportamiento del agregado influirá en las propiedades finales del producto, como la resistencia y la estabilidad dimensional.

**Figura 4.**

*Volumen del recipiente*



Nota. Elaboración propia

En la Figura 4 se presenta el cálculo del volumen del recipiente utilizado en los ensayos. El recipiente tiene una altura de 15,4 cm y un diámetro de 15,2 cm, lo que da un volumen calculado de 2794,46 cm<sup>3</sup>. Este volumen es fundamental para determinar las propiedades de densidad y compactación de los agregados.

A partir de este volumen, se obtienen los valores de peso unitario para los dos tipos de agregado fino evaluados. Para el agregado fino varillado, el peso unitario es de 1,85 g/cm<sup>3</sup>, lo que equivale a 1845,37 kg/m<sup>3</sup>. Este valor indica una mayor densidad y compactación del material varillado en comparación con el agregado fino suelto. En cambio, el peso unitario

del agregado fino suelto es de  $1,58 \text{ g/cm}^3$ , lo que corresponde a  $1579,91 \text{ kg/m}^3$ , indicando que el material tiene una menor densidad y es menos compacto.

Estos resultados proporcionan información clave sobre las propiedades físicas de los agregados, que son esenciales para el diseño de los adoquines. La diferencia en el peso unitario entre los dos tipos de agregado influirá en la mezcla y las características finales del adoquín, como su resistencia, durabilidad y comportamiento ante cargas y condiciones ambientales.

**Tabla 13.**

*Cálculo del volumen del molde de agregado fino*

		Densidad del agua		
Temperatura			kg/m <sup>3</sup>	lb/pie <sup>3</sup>
C	F			
15,60	60,00		999,01	62,366
18,30	65,00		998,54	62,336
21,10	70,00		997,97	62,301
23,00	73,40		997,54	32,274
23,90	75,00		997,32	62,261
26,70	80,00		996,59	62,216
29,40	85,00		995,83	26,166
Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> ):			999.01	
Densidad del agua (g/cm <sup>3</sup> ):			0,99901	
<b>% de Vacíos del A.F varillado:</b>				<b>29,14%</b>
<b>% de Vacíos del A.F suelto:</b>				<b>39.33%</b>

Nota. Elaboración propia

En el cálculo del volumen del recipiente utilizado en los ensayos, se han considerado las dimensiones de 15,4 cm de altura y 15,2 cm de diámetro, resultando en un volumen de  $2794,46 \text{ cm}^3$ . Este volumen es esencial para determinar la densidad de los diferentes tipos de agregado fino evaluados.

Los resultados muestran que el peso unitario del agregado fino varillado es de  $1,85 \text{ g/cm}^3$ , lo que equivale a  $1845,37 \text{ kg/m}^3$ . Este valor indica que el agregado varillado tiene una mayor densidad en comparación con el agregado fino suelto, lo que implica una mayor

compactación y mayor resistencia en la mezcla. Por otro lado, el peso unitario del agregado fino suelto es de  $1,58 \text{ g/cm}^3$ , o  $1579,91 \text{ kg/m}^3$ , lo que refleja una menor densidad y menor compactación del material. Este tipo de agregado puede generar una menor resistencia y durabilidad en los adoquines, lo que podría influir en su desempeño, especialmente en condiciones de alta carga o exposición a agentes externos.

Estos datos son fundamentales para la selección de los agregados en la fabricación de adoquines, ya que influyen directamente en las características finales del producto, como su estabilidad estructural y resistencia a las condiciones ambientales.

#### 4.3.2. Agregado grueso

**Tabla 14.**

*Peso unitario y vacío del agregado grueso varillado*

N° de ensayo	Pt: peso del molde + agregado (g)	Pm: peso del molde (g)	Pa: peso del agregado (g)
1	20183,00	4843,00	15340,00
2	20148,00	4843,00	15305,00
3	20165,00	4843,00	15322,00
4	20171,00	4843,00	15328,00
5	20156,00	4843,00	15313,00
<b>Promedio de PA</b>			<b>15321,60</b>

Nota. Elaboración propia

En la tabla 13 se muestran los resultados del ensayo realizado para determinar el peso unitario y el vacío del agregado grueso varillado. Los valores del peso total del molde más el agregado (PT) fluctúan entre 20148,00 g y 20183,00 g, con un promedio de 20164,60 g. El peso del molde (PM) es constante en 4843,00 g en todos los ensayos. El peso del agregado (PA), que se obtiene restando el peso del molde al peso total, varía entre 15305,00 g y 15340,00 g, alcanzando un promedio de 15321,60 g.

El promedio del peso del agregado grueso varillado muestra una alta consistencia en los resultados, lo que indica que el material es homogéneo en cuanto a su densidad y

características físicas. Este comportamiento es positivo para la fabricación de adoquines, ya que garantiza que el material utilizado tendrá una densidad estable y controlada, lo cual influirá positivamente en la resistencia y durabilidad de los adoquines fabricados con este agregado. Las pequeñas variaciones observadas son normales y pueden deberse a la distribución del tamaño de las partículas del agregado grueso. Estos datos son esenciales para la optimización de la mezcla de concreto en la fabricación de adoquines, especialmente al considerar la incorporación de aditivos como el caucho reciclado y el PET, que podrían alterar las propiedades de la mezcla.

**Tabla 15.***Peso unitario y vacío del agregado grueso suelto*

Nº de ensayo	Pt: peso del molde + agregado (g)	Pm: peso del molde (g)	Pa: peso del agregado (g)
1	18716,00	4843,00	13873,00
2	18651,00	4843,00	13808,00
3	18690,00	4843,00	13847,00
4	18705,00	4843,00	13862,00
5	18689,00	4843,00	13846,00
<b>Promedio de PA</b>			<b>13847,20</b>

Nota. Elaboración propia

En la tabla 14 se presentan los resultados del ensayo para determinar el peso unitario y el vacío del agregado grueso suelto. El peso total del molde más el agregado (PT) varió entre 18651,00 g y 18716,00 g, con un promedio de 18694,60 g. El peso del molde (PM) se mantuvo constante en 4843,00 g en todos los ensayos. El peso del agregado (PA), calculado restando el peso del molde al peso total, varió entre 13808,00 g y 13873,00 g, con un promedio de 13847,20 g.

El promedio del peso del agregado grueso suelto muestra una variabilidad ligeramente menor que la observada en el agregado grueso varillado, pero aún dentro de un rango aceptable para la producción de adoquines. Este comportamiento es indicativo de una

cierta homogeneidad en el material, aunque con ligeras variaciones que podrían ser atribuibles a factores como la distribución del tamaño de las partículas o la compactación del material durante el ensayo. Estos datos son importantes para la fabricación de adoquines, ya que el tipo de agregado grueso influirá en la resistencia, durabilidad y comportamiento del adoquín, especialmente cuando se considere la incorporación de aditivos como el caucho reciclado y el PET. La densidad del agregado grueso suelto podría afectar la mezcla final del concreto, por lo que su control es crucial para garantizar un producto final de alta calidad.

**Figura 5.**

*Volumen del recipiente*



Nota. Elaboración propia

En la Figura 8 se presenta el cálculo del volumen del recipiente utilizado en los ensayos. Con una altura de 29 cm y un diámetro de 20,1 cm, el volumen calculado es de 9201,95 cm<sup>3</sup>. Este volumen es clave para la determinación de las propiedades de densidad de los agregados gruesos evaluados.

Los resultados de los ensayos muestran los valores de peso unitario para los dos tipos de agregado grueso. El peso unitario del agregado fino varillado es de 1,67 g/cm<sup>3</sup>, lo que equivale a 1665,04 kg/m<sup>3</sup>. Este valor refleja una mayor densidad y compactación en comparación con el agregado suelto. En contraste, el peso unitario del agregado fino suelto es de 1,50 g/cm<sup>3</sup>, o 1504,8 kg/m<sup>3</sup>, indicando una menor densidad y un material más suelto,

con una capacidad de compactación menor. Estas diferencias en el peso unitario son fundamentales para el diseño de la mezcla de los adoquines, ya que afectan directamente a las propiedades finales del producto, como su resistencia, durabilidad y comportamiento ante el paso del tiempo y las condiciones ambientales. La mayor densidad del agregado fino varillado indica que será más adecuado para aplicaciones que requieran mayor estabilidad estructural, mientras que el agregado suelto podría ser utilizado en situaciones donde la ligereza y facilidad de manejo sean prioritarias.

**Tabla 16.**

*Volumen del recipiente para agregado fino*

Temperatura		Densidad del agua	
C	F	kg/m <sup>3</sup>	lb/pie <sup>3</sup>
15,60	60,00	999,01	62,366
18,30	65,00	998,54	62,336
21,10	70,00	997,97	62,301
23,00	73,40	997,54	32,274
23,90	75,00	997,32	62,261
26,70	80,00	996,59	62,216
29,40	85,00	995,83	26,166
Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> ):		997,97	
Densidad del agua (g/cm <sup>3</sup> ):		0,99797	
<b>% de Vacíos del A.F varillado:</b>			<b>29,56%</b>
<b>% de Vacíos del A.F suelto:</b>			<b>36,34%</b>

Nota. Elaboración propia

En la tabla 15 se presenta el cálculo del volumen del recipiente utilizado en los ensayos para el agregado fino. La densidad del agua se reporta como 997,97 kg/m<sup>3</sup> (0,99797 g/cm<sup>3</sup>), lo que se emplea en el cálculo para determinar los vacíos del material.

Los resultados muestran que el porcentaje de vacíos del agregado fino varillado es del 29,56%, mientras que el porcentaje de vacíos del agregado fino suelto es del 36,34%. Estos valores indican una mayor compactación del agregado varillado, lo que resulta en menos espacios vacíos dentro del material. Esto implica que el agregado varillado tendrá una

mayor densidad aparente y podría ser más adecuado para aplicaciones que requieran mayor resistencia y estabilidad estructural.

Por otro lado, el agregado fino suelto presenta un mayor porcentaje de vacíos, lo que sugiere que este material tiene una mayor porosidad. Esto puede influir en una menor densidad aparente y, potencialmente, en una menor resistencia y durabilidad en comparación con el agregado varillado. Los porcentajes de vacíos son un indicador clave de la calidad del agregado, ya que afectan directamente la cantidad de agua y cemento que se necesita para obtener una mezcla con la consistencia y resistencia deseada en la fabricación de adoquines.

Estos datos son esenciales para comprender las propiedades de los agregados y su impacto en la mezcla de concreto, especialmente cuando se incorporan aditivos como el caucho reciclado y el PET, los cuales pueden alterar la porosidad y la capacidad de compactación del material.

**Tabla 17.**

*Contenido de humedad del agregado fino y grueso*

<b>Agregado grueso</b>	
Peso inicial de la muestra (gr)	258
Peso de la muestra seca (gr)	251
<b>% de humedad:</b>	<b>2,79%</b>
<b>Agregado fino</b>	
Peso inicial de la muestra (gr)	281
Peso de la muestra seca (gr)	280
<b>% de humedad:</b>	<b>0,36%</b>

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 17 se presentan los resultados obtenidos para determinar el contenido de humedad de los agregados grueso y fino.

Para el agregado grueso, el peso inicial de la muestra fue de 258 g, mientras que el peso de la muestra seca fue de 251 g, lo que da un porcentaje de humedad de 2,79%. Este

valor indica que el agregado grueso tiene una mayor cantidad de humedad en comparación con el agregado fino. Esta humedad puede influir en la mezcla de concreto, ya que una mayor humedad podría alterar la relación agua-cemento, afectando la consistencia y la resistencia final del concreto.

Por otro lado, el agregado fino presentó un peso inicial de 281 g y un peso seco de 280 g, lo que resulta en un porcentaje de humedad de 0,36%. Este valor es significativamente menor que el del agregado grueso, lo que indica que el agregado fino tiene menos agua retenida en su estructura. Esto sugiere que el agregado fino podría ser más adecuado para mezclas que requieran un control preciso de la cantidad de agua, ya que su bajo contenido de humedad permitirá una mejor estabilidad en la mezcla de concreto.

Estos resultados son fundamentales para la fabricación de adoquines, ya que el contenido de humedad de los agregados afecta directamente la proporción de agua y cemento en la mezcla, y, por ende, la calidad y durabilidad del producto final. Además, el contenido de humedad influye en la capacidad de trabajo de la mezcla y en su compacidad, lo cual es crucial cuando se incorporan materiales como el caucho reciclado y el PET, que podrían reaccionar de manera diferente a la humedad presente en los agregados.

#### 4.4. Diseño de concreto método ACI 211.1

**Tabla 18.**

*Datos para evaluar el diseño*

<b>Cemento</b>	
Cemento Yura	Tipo I
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> ):	3,15
Peso del cemento:	42,5
<b>Datos del agregado grueso</b>	
Tamaño máximo nominal:	in = 1/2
Absorción:	1,12%
Peso específico de la masa (kg/m <sup>3</sup> ):	2368,69
Contenido de humedad:	2,79%
Peso seco compactado (kg/m <sup>3</sup> ):	1665,04
<b>Datos del Agregado Fino</b>	
Módulo de finura:	2,44
Absorción:	3,73%
Contenido de humedad:	0,36%
Peso específico de la masa (kg/m <sup>3</sup> ):	2606,81
<b>Resistencia a diseñar</b>	
$f'c =$	<b>350</b>
<b>Revenimiento del Concreto</b>	
SLUMP (in) =	<b>4</b>
<b>Aire en el Concreto</b>	
El concreto no es con aire incluido	
<b>Determinación de la resistencia promedio</b>	
$f'c$	350
Desviación estándar	0
$f'cr$ (con desviación estándar)	350 $f'cr$
$f'cr$ (con factor de seguridad)	448 $f'cr$

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 18 presenta los datos utilizados para evaluar el diseño del concreto utilizando el método ACI211.1, que se enfoca en la dosificación y los parámetros necesarios para obtener una mezcla de concreto con las propiedades deseadas.

- **Cemento:** Se utiliza cemento Yura Tipo I con un peso específico de 3,15 g/cm<sup>3</sup> y un peso de 42,5 kg. Este cemento es adecuado para el diseño de concreto con resistencia  $f'c = 350$  kg/cm<sup>2</sup> debido a sus características generales, que

proporcionan una resistencia inicial adecuada en aplicaciones de concreto estructural.

- Agregado Grueso: El tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 1/2 pulgada, lo que implica que se trata de un material de tamaño mediano, adecuado para lograr una mezcla de concreto trabajable. Con un peso específico de la masa de 2368,69 kg/m<sup>3</sup> y una absorción de 1,12%, el agregado grueso tiene una capacidad moderada para absorber agua, lo cual debe ser considerado al calcular la cantidad de agua para la mezcla. Su contenido de humedad es de 2,79%, lo que también debe ser tomado en cuenta, ya que el exceso de humedad en los agregados puede alterar la relación agua-cemento y afectar la resistencia final del concreto. El peso seco compactado es de 1665,04 kg/m<sup>3</sup>, lo que indica la densidad del agregado cuando está completamente seco y compactado.
- Agregado Fino: El agregado fino tiene un módulo de finura de 2,44, lo que indica que el material tiene una distribución de tamaños de partículas más finas en comparación con el agregado grueso. Su absorción es mayor que la del agregado grueso, alcanzando un 3,73%, lo que sugiere una mayor capacidad de retención de agua. El contenido de humedad es de 0,36%, lo que es bajo en comparación con el agregado grueso. El peso específico de la masa del agregado fino es de 2606,81 kg/m<sup>3</sup>, lo que indica que es un material más denso, lo que puede influir en la dosificación final del concreto.
- Resistencia a Diseñar: La resistencia a diseñar es de 350 kg/cm<sup>2</sup> (f'c), lo que implica que se busca un concreto con una resistencia a la compresión de 350 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, un valor comúnmente requerido para estructuras de concreto de uso general.

- Revenimiento del Concreto (SLUMP): Se establece un revenimiento de 4 in (aproximadamente 10 cm), lo que indica una consistencia media en la mezcla, adecuada para el trabajo en sitio y para garantizar una buena capacidad de fluidez en el concreto sin que sea demasiado húmedo ni demasiado seco.
- Aire en el Concreto: Se especifica que el concreto no es con aire incluido, lo que significa que no se utilizarán aditivos para incorporar aire en la mezcla, lo cual es típico en concreto de resistencia estándar.
- Determinación de la Resistencia Promedio: La resistencia a diseñar ( $f'c$ ) se establece en  $350 \text{ kg/cm}^2$ , y se considera una desviación estándar de 0, lo que sugiere que se espera una mezcla homogénea con un desempeño consistente en términos de resistencia. El  $f'cr$  con desviación estándar es de  $350 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que el  $f'cr$  con factor de seguridad es de  $448 \text{ kg/cm}^2$ , lo que refleja una resistencia con el margen de seguridad adicional para garantizar la durabilidad y la seguridad de la estructura.

Este diseño de concreto está cuidadosamente calculado para cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad de la mezcla, utilizando los parámetros y datos adecuados para asegurar que el concreto alcanzará la resistencia esperada, con un control adecuado de la humedad y la dosificación de los agregados. La dosificación del agua, los agregados y el cemento deberá ajustarse en el proceso de mezclado para asegurar la homogeneidad y calidad del concreto en la fabricación de adoquines.

**Tabla 19.**

*Datos del diseño de concreto*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>	
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire atrapado debido al A.G de T.M.N. = 0,5" es: 2,5%	
<b>B) Volumen del agua</b>	
Para concreto sin aire incluido:	
	216 L
Para concreto con aire incluido:	
	193 L
<b>C) Relación agua cemento</b>	
$f_{cr} =$	448 $f_{cr}$
Relación A/C =	0,382
<b>D) Determinar cantidad de cemento</b>	
Cemento (bolsas) = 13,30	
<b>E) Cantidad de agregado grueso</b>	
Contenido agregado grueso	<b>0,59 m<sup>3</sup></b>
Peso del agregado grueso	<b>976,51 kg</b>
<b>F) Volúmenes Absolutos</b>	
Cemento:	,18 m <sup>3</sup>
Agua:	,216 m <sup>3</sup>
Agregado grueso:	,412 m <sup>3</sup>
Aire:	,025 m <sup>3</sup>
suma de Volúmenes =	<b>,808 m<sup>3</sup></b>
<b>G) Contenido de agregado fino</b>	
Volumen Absoluto del Agregado Fino =	<b>,192 m<sup>3</sup></b>
Peso del Agregado Fino Seco =	<b>501 kg</b>
<b>H) Valores tentativos de diseño</b>	
Cemento:	565,45 kg
Agua de diseño:	216, kg
Agregado fino seco:	501,12 kg
Agregado grueso seco:	976,51 kg
Sumatoria	<b>2259,08 kg</b>
<b>I) Corrección por humedad</b>	
Agregado fino	502,91 kg
Agregado grueso	1003,743 kg
<b>J) Humedad superficial de los agregados</b>	
Agregado fino	-3,38%
Agregado grueso	1,67%
Aporte de humedad de los agregados L	
Agregado fino	-0,169
Agregado grueso	0,163
Suma =	-,62 L
<b>K) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>	
Cemento:	565,445 kg/m <sup>3</sup>
Agua de diseño:	216,624 L/m <sup>3</sup>
Agregado fino seco:	502,914 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso seco:	1003,743 kg/m <sup>3</sup>
Sumatoria total =	2288,726 kg/m <sup>3</sup>
<b>L) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>	
<b>Diseño de Mezcla = 1:0,9: 1,8: 16,3 Lt</b>	

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 19 Para el diseño de la mezcla de concreto utilizada en la fabricación de los adoquines peatonales, se aplicó el método ACI 211.1 (American Concrete Institute, 2021).

Este método de dosificación se utilizó para determinar las proporciones de los materiales en la mezcla, asegurando que cumpliera con los requisitos de resistencia a la compresión de 20 MPa a los 28 días, y con una trabajabilidad adecuada para el proceso de fabricación de adoquines. El ACI 211.1 permite ajustar la dosificación de acuerdo con las propiedades deseadas del concreto, optimizando el uso de cemento, agregados y agua. Para este estudio, se utilizó el siguiente cálculo para la mezcla final.

- Contenido de aire atrapado: Para el concreto sin aire incluido, el porcentaje de aire atrapado debido al agregado grueso (Tamaño máximo nominal de 0,5") es del 2,5%. Este valor refleja la cantidad de aire presente en la mezcla debido a las características de los agregados, lo que puede afectar la densidad y la resistencia del concreto.
- Volumen del agua: Se determina que para el concreto sin aire incluido, el volumen de agua es de 216 litros (L). Esta cantidad es crucial para lograr la relación agua-cemento adecuada y garantizar que la mezcla tenga la trabajabilidad necesaria para el proceso de colocación y compactación.
- Relación agua-cemento (A/C): La relación agua-cemento se calcula en 0,382, un valor relativamente bajo que favorece la resistencia del concreto, ya que una menor cantidad de agua en relación con el cemento mejora la compacidad y la durabilidad del producto final.
- Cantidad de cemento: Se determinó que se requieren 13,30 bolsas de cemento para alcanzar la dosificación adecuada de la mezcla. Esta cantidad está diseñada para cumplir con la resistencia requerida de 350 kg/cm<sup>2</sup> (f'c).
- Cantidad de agregado grueso: Se estableció que el contenido de agregado grueso es de 0,59 m<sup>3</sup>, con un peso de 976,51 kg. Este valor garantiza una adecuada

proporción de material grueso en la mezcla, lo cual es fundamental para la resistencia y la estabilidad del concreto.

- Volúmenes absolutos: Los volúmenes absolutos de los materiales para la mezcla se distribuyen de la siguiente manera:
  - Cemento: 0,18 m<sup>3</sup>
  - Agua: 0,216 m<sup>3</sup>
  - Agregado grueso: 0,412 m<sup>3</sup>
  - Aire: 0,025 m<sup>3</sup>

La suma de estos volúmenes da 0,808 m<sup>3</sup>, lo que representa el volumen total de la mezcla para un metro cúbico de concreto.

- Contenido de agregado fino: El volumen absoluto del agregado fino es de 0,192 m<sup>3</sup>, con un peso de 501 kg. Este material es fundamental para completar la mezcla y lograr las características adecuadas de consistencia y resistencia en el concreto.
- Valores tentativos de diseño:
  - Cemento: 565,45 kg
  - Agua de diseño: 216 L
  - Agregado fino seco: 501,12 kg
  - Agregado grueso seco: 976,51 kg

La sumatoria total de los materiales es de 2259,08 kg, lo que corresponde al peso total de los materiales por metro cúbico de concreto.

- Corrección por humedad: Se ajustan los valores de los agregados en función de su contenido de humedad superficial:
  - Agregado fino: 502,91 kg
  - Agregado grueso: 1003,743 kg

Estos valores corregidos aseguran que la cantidad de agua no se vea afectada por la humedad presente en los agregados.

- Humedad superficial de los agregados:
  - Agregado fino: -3,38%
  - Agregado grueso: 1,67%

La aportación de humedad de los agregados es ajustada para calcular la cantidad exacta de agua en la mezcla. El agregado fino contribuye con -0,169 litros, mientras que el agregado grueso aporta 0,163 litros, lo que resulta en una suma total de -0,62 litros. Esta corrección es necesaria para mantener la consistencia deseada en la mezcla.

- Pesos finales por metro cúbico de los materiales:
  - Cemento: 565,445 kg/m<sup>3</sup>
  - Agua de diseño: 216,624 L/m<sup>3</sup>
  - Agregado fino seco: 502,914 kg/m<sup>3</sup>
  - Agregado grueso seco: 1003,743 kg/m<sup>3</sup>

La sumatoria total de los materiales es 2288,726 kg/m<sup>3</sup>, lo que representa la cantidad total de material necesario para producir un metro cúbico de concreto.

- Proporción final de diseño en base al peso: El diseño de la mezcla final se establece en la proporción 1: 0,9: 1,8: 16,3 L, lo que indica la relación entre cemento, agua, agregados finos y gruesos en la mezcla. Esta proporción asegura una mezcla adecuada para alcanzar la resistencia requerida y garantizar la durabilidad y trabajabilidad del concreto.

Los datos presentados en la Tabla 8 proporcionan una guía detallada sobre las cantidades y proporciones de los materiales necesarios para obtener una mezcla de concreto de alta calidad, con una adecuada relación agua-cemento y la corrección necesaria por la

humedad de los agregados. Este diseño asegura que el concreto tendrá las propiedades deseadas, tanto en términos de resistencia como de durabilidad.

**Tabla 20.**

*Cantidad de materiales para realizar prueba de cono de Abrams*

<i>Volumen de Cono de Abrams</i>	
,0055 m <sup>3</sup>	
<i>Volumen de materiales</i>	
Cemento	3,11 kg
Agua	1,351 L
Agregado Fino	2,756 kg
Agregado Grueso	5,371 kg
<b>Total (kg)</b>	<b>12,588 kg</b>

Nota. Elaboración propia

La Tabla 20 presenta la cantidad de materiales necesarios para realizar la prueba de cono de Abrams. El volumen total del cono es de 0,0055 m<sup>3</sup>, lo cual corresponde a la cantidad de mezcla que se utilizará para esta prueba de consistencia.

Cemento: Se utilizan 3,11 kg de cemento para la mezcla. Esta cantidad es proporcional al volumen del concreto a preparar, asegurando que se obtenga la resistencia deseada en la mezcla, especialmente considerando que el cemento es el principal agente aglutinante en la formación del concreto.

Agua: Para esta mezcla se requieren 1,191 L de agua. La cantidad de agua es crucial, ya que influye directamente en la trabajabilidad de la mezcla y en la relación agua-cemento, que es determinante para alcanzar la resistencia esperada.

Agregado fino (A. Fino): Se utilizan 2,766 kg de agregado fino. Este material es fundamental para lograr la consistencia adecuada en la mezcla. El agregado fino ayuda a llenar los espacios entre las partículas del agregado grueso, mejorando la compactación y la resistencia del concreto.

Agregado grueso (A. Grueso): La cantidad de 5,521 kg de agregado grueso corresponde a la porción más significativa de la mezcla, que proporciona la estructura del concreto y le da la resistencia a la compresión. El agregado grueso es necesario para asegurar la estabilidad estructural del concreto una vez que se haya colocado y endurecido.

Total: El peso total de la mezcla es de 12,588 kg. Este valor representa la cantidad total de materiales que se utilizarán para realizar la prueba del cono de Abrams, que permitirá evaluar la trabajabilidad del concreto, es decir, la facilidad con la que el concreto puede ser colocado y compactado.

En conclusión, estos datos muestran las cantidades proporcionales de cada material para la preparación de la mezcla de concreto que se someterá a la prueba de cono de Abrams. La correcta dosificación de cemento, agua, y agregados es clave para obtener una mezcla de concreto con las propiedades de resistencia y trabajabilidad deseadas, lo que impactará directamente en la calidad y durabilidad del producto final.

**Tabla 21.**

*Cantidad de materiales para realizar prueba de adoquines*

	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>
Dimensiones de adoquín	0,2 m	0,1 m	0,04 m
Numero de adoquines	12		
Vol. Probeta =	<b>0,0096 m<sup>3</sup></b>		
<b>Volumen de materiales para probeta kg</b>			
Cemento:			5,4 kg
Agua de diseño:			2,4 L
Agregado Fino:			4,8 kg
Agregado grueso:			9,4 kg
Sumatoria total =			<b>21,97 kg</b>

*Nota.* Elaboración propia

La tabla 21 muestra la cantidad de materiales necesarios para la prueba de fabricación de adoquines. En esta prueba se utiliza una probeta de concreto con dimensiones específicas, y se detallan los materiales requeridos para producir el volumen de concreto necesario para la fabricación de 12 adoquines.

Dimensiones del adoquín: Cada adoquín tiene un largo de 0,2 m, un ancho de 0,1 m y una altura de 0,04 m, lo que da un volumen de 0,0096 m<sup>3</sup> por probeta.

Cantidad de cemento: Se requiere 5,4 kg de cemento para preparar el volumen de mezcla necesario para los adoquines. Esta cantidad de cemento asegura que el concreto tenga la resistencia y la durabilidad adecuadas para los adoquines, que son elementos estructurales que deben soportar cargas y desgaste.

Cantidad de agua de diseño: Se utiliza 2,1 litros de agua, lo que representa una dosificación adecuada para alcanzar la trabajabilidad deseada en el concreto, permitiendo una mezcla fluida, pero con suficiente consistencia para formar los adoquines sin comprometer su resistencia final.

Cantidad de agregado fino (A. Fino): Para los adoquines, se requieren 4,8 kg de agregado fino. Este material contribuye a la compactación y la resistencia del concreto, llenando los espacios entre las partículas del agregado grueso y asegurando una estructura sólida.

Cantidad de agregado grueso (A. Grueso): Se utiliza 9,6 kg de agregado grueso. Este material es el principal componente estructural de la mezcla, proporcionando la resistencia y estabilidad necesaria para los adoquines.

Sumatoria total: El peso total de la mezcla es de 21,97 kg, que es la cantidad total de materiales necesarios para preparar el concreto para las 12 probetas de adoquines.

Este análisis muestra las cantidades de materiales necesarios para la producción de adoquines en una prueba de laboratorio. La correcta proporción de cemento, agua, y agregados es crucial para garantizar que los adoquines tengan la resistencia y durabilidad requeridas para su uso en aplicaciones peatonales. El diseño de la mezcla debe ser cuidadosamente controlado para lograr la calidad deseada en el producto final.

**Tabla 22.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 2% y caucho 5%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>		
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:		2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>		
Para concreto sin aire incluido:		216 L
<b>C) Relación agua cemento</b>		
$f'_{cr} =$	43.93 MPa	
Relación A/C =		0,38
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>		
Cemento (bolsas)=		13,3
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>		
Contenido A. Grueso		0,59
Peso del A. Grueso		976,51 kg
<b>F) Adición PET y Caucho en Agregado Grueso</b>		
PET 2%		19,53 kg
CAUCHO 5%		48,82 kg
Peso del A. Grueso corregido		908,15 kg
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>		
Cemento:		0,179506358 m3
Agua:		0,216 m3
A. Grueso:		0,383399217 m3
Aire:		0,025 m3
suma de Volúmenes =		0,778905574 m3
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>		
Volumen Absoluto del Agregado Fino =		0,221094426 m3
Peso del Agregado Fino Seco =		576,35 kg
<b>I) Valores Tentativos de diseño</b>		
Cemento:		565,44 kg
Agua de diseño:		216 L
Agregado fino seco:		576,35 kg
Agregado grueso seco:		908,15 kg
Sumatoria		2265,95 kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>		
A. Fino		578,41 kg
A. Grueso		933,486 kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>		
A. Fino	-0,033	
A. Grueso	0,01669	
Aporte de humedad de los agregados lt		
A. Fino	-0,194	
A. Grueso	0,151	
Suma =	-4,305	
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>		
Cemento:		565,44 kg
Agua de diseño:		220,3 L
Agregado fino seco:		578,41 kg
Agregado grueso seco:		933,48 kg
PET 2%		19,53 kg
Caucho 5%		48,82 kg
SUMATORIA TOTAL =		2365,99 kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>		
Diseño de Mezcla =	1 : 1 : 1.7 : 16.6L	
PET	0,03	
CAUCHO	0,22	

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto con el método ACI 211.1, utilizando adiciones de PET al 2% y caucho al 5%, muestra una mezcla equilibrada en términos de durabilidad y trabajabilidad. El contenido de aire atrapado del 2,5% es adecuado para este tipo de mezcla sin aire integrado, y la relación agua-cemento (0,38) garantiza un concreto de alta resistencia ( $f_{cr} = 43,93$  MPa). Esto sugiere que la mezcla tiene una alta densidad y será resistente a factores como la penetración de agua, lo cual es esencial para su durabilidad en la fabricación de adoquines peatonales.

La cantidad de cemento utilizada es de 13,3 bolsas (565,44 kg), lo que está en línea con las expectativas para obtener la resistencia requerida. Además, la adición de PET (19,53 kg) y caucho (48,82 kg) ha reducido la cantidad de agregado grueso a 908,15 kg, lo que puede resultar en un concreto más ligero. Si bien esta reducción puede afectar la resistencia al peso, también implica un beneficio medioambiental considerable al incorporar materiales reciclados. El diseño también incluye una corrección por humedad de los agregados, lo que asegura que las proporciones de la mezcla sean precisas y consistentes.

El peso final por metro cúbico es de 2365,99 kg, lo que es coherente con los valores esperados para un concreto de alta resistencia. La proporción final de la mezcla es de 1 : 1 : 1.7 : 16.6L, con el PET representando el 3% y el caucho el 22%. Aunque los resultados preliminares muestran que el diseño es prometedor, se necesitan pruebas adicionales para evaluar el comportamiento a largo plazo de este concreto, especialmente en condiciones de carga y variabilidad ambiental. Esto permitirá determinar la viabilidad de estas adiciones en la práctica y su impacto en la durabilidad y resistencia final del producto.

**Tabla 23.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 4% y caucho 5%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>		
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:		2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>		
Para concreto sin aire incluido:		216 L
<b>C) Relación agua cemento</b>		
$f'_{cr} =$	43.93 MPa	
Relación A/C =		0,38
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>		
Cemento (bolsas)=		13,3
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>		
Contenido A. Grueso		0,59
Peso del A. Grueso		976,51 kg
<b>F) Adición PET y Caucho en Agregado Grueso</b>		
PET 4%		39,06 kg
CAUCHO 5%		48,83 kg
Peso del A. Grueso corregido		888,62 kg
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>		
Cemento:		0,179506358 m <sup>3</sup>
Agua:		0,216 m <sup>3</sup>
A. Grueso:		0,375154072 m <sup>3</sup>
Aire:		0,025 m <sup>3</sup>
suma de Volúmenes =		0,77066043 m <sup>3</sup>
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>		
Volumen Absoluto del Agregado Fino =		0,22933957 m <sup>3</sup>
Peso del Agregado Fino Seco =		597,85 kg
<b>I) Valores Tentativos de diseño</b>		
Cemento:		565,45 kg
Agua de diseño:		216,00 L
Agregado fino seco:		597,85 kg
Agregado grueso seco:		888,62 kg
Sumatoria		2267,91 kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>		
A. Fino		599,98 kg
A. Grueso		913,41 kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>		
A. Fino	-0,033	
A. Grueso	0,01669	
Aporte de humedad de los agregados lt		
A. Fino	-0,194	
A. Grueso	0,151	
Suma =	-4,305	
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>		
Cemento:		565,45 kg
Agua de diseño:		221,36 L
Agregado fino seco:		599,98 kg
Agregado grueso seco:		913,41 kg
PET 4%		39,06 kg
Caucho 5%		48,83 kg
SUMATORIA TOTAL =		2388,08 kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>		
Diseño de Mezcla =	1: 1.1: 1.6: 16.6L	
PET	0,07	
CAUCHO	0,22	

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto utilizando el método ACI 211.1, con adiciones de PET al 2% y caucho al 5%, ofrece una mezcla balanceada en cuanto a durabilidad y trabajabilidad. El contenido de aire atrapado del 2,5% es adecuado para una mezcla sin aire integrado, mientras que la relación agua-cemento de 0,38 asegura un concreto de alta resistencia ( $f_{cr} = 43,93$  MPa). Este equilibrio en la mezcla sugiere que el concreto tendrá una alta densidad y será resistente a la penetración de agua, lo cual es crucial para su durabilidad, especialmente en la fabricación de adoquines peatonales.

La cantidad de cemento utilizada es de 13,3 bolsas (565,44 kg), un valor apropiado para alcanzar la resistencia necesaria. La incorporación de PET (19,53 kg) y caucho (48,82 kg) ha reducido el peso del agregado grueso a 908,15 kg, lo que contribuye a un concreto más ligero. Aunque esta reducción podría influir en la resistencia al peso, representa un beneficio medioambiental significativo al reutilizar materiales reciclados. Además, el diseño incluye una corrección por humedad de los agregados, garantizando la precisión en la dosificación de la mezcla.

El peso final por metro cúbico del concreto es de 2365,99 kg, lo que es consistente con lo esperado para un concreto de alta resistencia. La proporción final de la mezcla, 1 : 1 : 1.7 : 16.6L, incluye un 3% de PET y un 22% de caucho. Aunque los resultados iniciales son prometedores, es fundamental realizar pruebas adicionales para evaluar el comportamiento del concreto a largo plazo, especialmente en condiciones de carga y variabilidad ambiental. Esto permitirá confirmar la viabilidad de estas adiciones en la práctica y su impacto en la resistencia y durabilidad del producto final.

**Tabla 24.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 6% y caucho 5%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>		
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:		2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>		
Para concreto sin aire incluido:	216 L	
<b>C) Relación agua cemento</b>		
$f'_{cr} =$	43.93 MPa	
Relación A/C =		0,38
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>		
Cemento (bolsas)=		13,3
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>		
Contenido A. Grueso		0,59
Peso del A. Grueso		976,51 kg
<b>F) Adición PET y Caucho en Agregado Grueso</b>		
PET 6%		58,59 kg
CAUCHO 5%		48,83 kg
Peso del A. Grueso corregido		869,09 kg
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>		
Cemento:		0,179506358 m <sup>3</sup>
Agua:		0,216 m <sup>3</sup>
A. Grueso:		0,366908928 m <sup>3</sup>
Aire:		0,025 m <sup>3</sup>
suma de Volúmenes =		0,762415286 m <sup>3</sup>
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>		
Volumen Absoluto del Agregado Fino =		0,237584714 m <sup>3</sup>
Peso del Agregado Fino Seco =		619,34 kg
<b>I) Valores Tentativos de diseño</b>		
Cemento:		565,45 kg
Agua de diseño:		216,00 L
Agregado fino seco:		619,34 kg
Agregado grueso seco:		869,09 kg
Sumatoria		2269,88 kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>		
A. Fino		621,55 kg
A. Grueso		893,33 kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>		
A. Fino	-0,033	
A. Grueso	0,01669	
Aporte de humedad de los agregados lt		
A. Fino	-0,194	
A. Grueso	0,151	
Suma =	-4,305	
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>		
Cemento:		565,45 kg
Agua de diseño:		222,41 L
Agregado fino seco:		621,55 kg
Agregado grueso seco:		893,33 kg
PET 6%		58,59 kg
Caucho 5%		48,83 kg
SUMATORIA TOTAL =		2410,15 kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>		
Diseño de Mezcla =	1: 1.1: 1.6: 16.7L	
PET		0,1
CAUCHO		0,22

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto utilizando el método ACI 211.1, con adiciones de PET al 6% y caucho al 5%, muestra una mezcla similar en estructura a la anterior, pero con una mayor proporción de PET. El contenido de aire atrapado se mantiene en 2,5%, lo que es adecuado

para este tipo de mezcla sin aire incluido. La relación agua-cemento (0,38) sigue siendo eficiente, lo que garantiza un concreto con alta resistencia ( $f_{cr} = 43,93$  MPa). Este valor de relación A/C asegura que la mezcla será densa y resistente a la penetración de agua, lo cual es esencial para la durabilidad de los adoquines peatonales.

En cuanto a los materiales, se ha utilizado 13,3 bolsas de cemento (565,45 kg), lo que cumple con los requisitos para obtener la resistencia esperada. La adición de PET (58,59 kg) y caucho (48,83 kg) ha reducido el peso del agregado grueso a 869,09 kg, lo que contribuye a una mezcla más ligera. Al igual que en el diseño anterior, esta reducción en el peso del agregado grueso se ve compensada por los beneficios medioambientales de utilizar materiales reciclados. Se realizaron correcciones por humedad en los agregados, lo que garantiza que la dosificación final de los materiales sea precisa y consistente.

El peso final por metro cúbico del concreto es de 2410,15 kg, lo que está dentro de los valores esperados para un concreto de alta resistencia, a pesar de las adiciones de PET y caucho. La proporción final de la mezcla es de 1: 1.1: 1.6: 16.7L para cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, respectivamente. El PET representa el 10% y el caucho el 22% de la mezcla. Aunque los resultados iniciales son positivos, es necesario realizar pruebas adicionales para evaluar el comportamiento a largo plazo del concreto con estas adiciones, especialmente en condiciones de carga y variabilidad ambiental. Esto permitirá validar la viabilidad del uso de estos materiales reciclados en la práctica y asegurar que el concreto mantenga sus propiedades de resistencia y durabilidad.

**Tabla 25.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 2% y caucho 10%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>	
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:	2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>	

Para concreto sin aire incluido:	216 L	
<b>C) Relación agua cemento</b>		
$f'_{cr} =$	43.93 MPa	
Relación A/C =		0,38
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>		
Cemento (bolsas)=		13,3
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>		
Contenido A. Grueso		0,59
Peso del A. Grueso		976,51 kg
<b>F) Adición PET y Caucho en Agregado Grueso</b>		
PET 2%		19,53 kg
CAUCHO 10%		97,65 kg
Peso del A. Grueso corregido		859,33 kg
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>		
Cemento:	0,179506358	m <sup>3</sup>
Agua:	0,216	m <sup>3</sup>
A. Grueso:	0,362786356	m <sup>3</sup>
Aire:	0,025	m <sup>3</sup>
suma de Volúmenes =	0,758292713	m <sup>3</sup>
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>		
Volumen Absoluto del Agregado Fino =	0,221094426	m <sup>3</sup>
Peso del Agregado Fino Seco =	630,08	kg
<b>I) Valores Tentativos de diseño</b>		
Cemento:	565,441	kg
Agua de diseño:	216	L
Agregado fino seco:	630,08	kg
Agregado grueso seco:	859,32	kg
Sumatoria	2270,85	kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>		
A. Fino	632,33	kg
A. Grueso	883,29	kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>		
A. Fino	-0,033	
A. Grueso	0,01669	
Aporte de humedad de los agregados lt		
A. Fino	-0,194	
A. Grueso	0,151	
Suma =	-4,305	
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>		
Cemento:	565,44	kg
Agua de diseño:	222,93	L
Agregado fino seco:	632,331	kg
Agregado grueso seco:	883,29	kg
PET 2%	19,53	kg
Caucho 10%	97,65	kg
SUMATORIA TOTAL =	2421,19	kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>		
Diseño de Mezcla =	1 : 1.1 : 1.6 : 16.8L	
PET	0,03	
CAUCHO	0,44	

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto utilizando el método ACI 211.1 con adición de PET al 2% y caucho al 10% presenta una mezcla equilibrada, con un contenido de aire atrapado del 2,5%, lo cual es adecuado para este tipo de mezcla sin aire integrado. La relación agua-cemento (A/C) de 0,38 asegura un concreto de alta resistencia ( $f'_{cr} = 43,93$  MPa), lo que indica que la mezcla será densa y resistente a la penetración de agua, factor importante para la

durabilidad de los adoquines peatonales. Esta mezcla es adecuada para soportar las condiciones ambientales que enfrentará el concreto en el uso de adoquines, proporcionando una alta resistencia y longevidad.

En términos de materiales, se han utilizado 13,3 bolsas de cemento (565,44 kg), lo que es suficiente para alcanzar la resistencia requerida. La adición de PET (19,53 kg) y caucho (97,65 kg) ha reducido el peso del agregado grueso a 859,33 kg, lo que resulta en un concreto más ligero. Aunque la mayor proporción de caucho podría afectar la resistencia al peso, su inclusión genera beneficios medioambientales importantes al incorporar materiales reciclados. La corrección por humedad de los agregados, que asegura que las proporciones de la mezcla sean exactas, ha sido realizada correctamente, con ajustes que permiten mantener la precisión en la dosificación.

El peso final por metro cúbico del concreto es de 2421,19 kg, lo cual es consistente con las expectativas para un concreto de alta resistencia, incluso con las adiciones de PET y caucho. La proporción final de la mezcla es de 1 : 1.1 : 1.6 : 16.8L, con el PET representando el 3% y el caucho el 44% del total de la mezcla. Aunque el diseño preliminar es prometedor, se deben realizar pruebas adicionales para evaluar el comportamiento a largo plazo de este concreto, especialmente en condiciones de carga y variabilidad ambiental. Estas pruebas son cruciales para confirmar la viabilidad del uso de estos materiales reciclados en la práctica y garantizar que el concreto mantenga sus propiedades de resistencia y durabilidad durante su vida útil.

**Tabla 26.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 4% y caucho 10%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>			
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:			2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>			
Para concreto sin aire incluido:			216 L
<b>C) Relación agua cemento</b>			
$f'_{cr} =$		43.93 MPa	
Relación A/C =			0,38
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>			

Cemento (bolsas)=		13,3
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>		
Contenido A. Grueso		0,59
Peso del A. Grueso		976,51 kg
<b>F) Adición PET y Caucho en Agregado Grueso</b>		
PET 4%		39,06 kg
CAUCHO 10%		97,65 kg
Peso del A. Grueso corregido		839,80 kg
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>		
Cemento:		0,179506358 m3
Agua:		0,216 m3
A. Grueso:		0,354541211 m3
Aire:		0,025 m3
suma de Volúmenes =		0,750047569 m3
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>		
Volumen Absoluto del Agregado Fino =		0,249952431 m3
Peso del Agregado Fino Seco =		651,58 kg
<b>D) Valores Tentativos de diseño</b>		
Cemento:		565,45 kg
Agua de diseño:		216,00 L
Agregado fino seco:		651,58 kg
Agregado grueso seco:		839,80 kg
Sumatoria		2272,82 kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>		
A. Fino		653,91 kg
A. Grueso		863,22 kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>		
A. Fino	-0,033	
A. Grueso	0,01669	
Aporte de humedad de los agregados lt		
A. Fino	-0,194	
A. Grueso	0,151	
Suma =	-4,305	
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>		
Cemento:		565,45 kg
Agua de diseño:		223,99 L
Agregado fino seco:		653,91 kg
Agregado grueso seco:		863,22 kg
PET 4%		39,06 kg
Caucho 10%		97,65 kg
SUMATORIA TOTAL =		2443,27 kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>		
Diseño de Mezcla =	1: 1.2: 1.5: 16.8L	
PET	0,07	
CAUCHO	0,44	

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto utilizando el método ACI 211.1, con adiciones de PET al 4% y caucho al 10%, muestra una mezcla bien balanceada, con un contenido de aire atrapado del 2,5%, que se considera adecuado para este tipo de mezcla sin aire incluido. La relación agua-cemento (A/C) de 0,38 asegura un concreto de alta resistencia ( $f_{cr} = 43,93$  MPa), lo que significa que la mezcla será densa y resistente a la penetración de agua. Este factor es crucial para garantizar la durabilidad de los adoquines peatonales en condiciones ambientales adversas.

En términos de materiales, se utilizan 13,3 bolsas de cemento (565,45 kg), lo que es apropiado para alcanzar la resistencia deseada. La adición de PET (39,06 kg) y caucho (97,65 kg) ha reducido el peso del agregado grueso a 839,80 kg, lo que contribuye a una mezcla más ligera. Aunque este ajuste puede afectar ligeramente la resistencia al peso, la incorporación de materiales reciclados resulta en una opción más sostenible. Además, la corrección por humedad en los agregados asegura que las proporciones de la mezcla sean exactas, garantizando una dosificación precisa.

El peso final por metro cúbico de la mezcla es de 2443,27 kg, lo que es consistente con los valores esperados para un concreto de alta resistencia, a pesar de las adiciones de PET y caucho. La proporción final de la mezcla es de 1 : 1.2 : 1.5 : 16.8L para cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, respectivamente. El PET representa el 7% y el caucho el 44% de la mezcla total. Aunque los resultados preliminares son prometedores, es necesario realizar más pruebas para evaluar el comportamiento del concreto a largo plazo, especialmente en condiciones de carga y variabilidad ambiental, lo que permitirá confirmar la viabilidad de estas adiciones en la práctica y garantizar la durabilidad y resistencia del concreto final.

**Tabla 27.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 6% y caucho 10%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>			
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:			2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>			
Para concreto sin aire incluido:	216 L		
<b>C) Relación agua cemento</b>			
$f'_{cr} =$	43.93 MPa		
Relación A/C =		0,38	
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>			
Cemento (bolsas)=		13,3	
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>			
Contenido A. Grueso		0,59	
Peso del A. Grueso		976,51 kg	
<b>F) Adición PET y Caucho en Agregado Grueso</b>			
PET 6%		58,59 kg	

CAUCHO 10%		97,65	kg
Peso del A. Grueso corregido		820,27	kg
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>			
Cemento:		0,179506358	m3
Agua:		0,216	m3
A. Grueso:		0,346296067	m3
Aire:		0,025	m3
suma de Volúmenes =		0,741802424	m3
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>			
Volumen Absoluto del Agregado Fino =		0,258197576	m3
Peso del Agregado Fino Seco =		673,07	kg
<b>I) Valores Tentativos de diseño</b>			
Cemento:		565,45	kg
Agua de diseño:		216,00	L
Agregado fino seco:		673,07	kg
Agregado grueso seco:		820,27	kg
Sumatoria		2274,79	kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>			
A. Fino		675,48	kg
A. Grueso		843,14	kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>			
A. Fino	-0,033		
A. Grueso	0,01669		
Aporte de humedad de los agregados lt			
A. Fino	-0,194		
A. Grueso	0,151		
Suma =	-4,305		
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>			
Cemento:		565,45	kg
Agua de diseño:		225,04	L
Agregado fino seco:		675,48	kg
Agregado grueso seco:		843,14	kg
PET 6%		58,59	kg
Caucho 10%		97,65	kg
SUMATORIA TOTAL =		2465,35	kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>			
Diseño de Mezcla =	1: 1.2: 1.5: 16.9L		
PET	0,1		
CAUCHO	0,43		

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto utilizando el método ACI 211.1 con adición de PET al 6% y caucho al 10% refleja una mezcla bien equilibrada, con un contenido de aire atrapado del 2,5%, lo cual es adecuado para una mezcla sin aire integrado. La relación agua-cemento (A/C) de 0,38 garantiza un concreto de alta resistencia ( $f_{cr} = 43,93$  MPa), lo que significa que la mezcla será densa y resistente a la penetración de agua. Esto es crucial para garantizar la durabilidad y longevidad de los adoquines peatonales, especialmente en condiciones climáticas variables y de alta demanda.

La cantidad de cemento utilizada es de 13,3 bolsas (565,45 kg), lo que es adecuado para alcanzar la resistencia esperada. La adición de PET (58,59 kg) y caucho (97,65 kg) ha

reducido el peso del agregado grueso a 820,27 kg, lo que contribuye a un concreto más ligero. Aunque la reducción del agregado grueso puede afectar ligeramente la resistencia al peso, la inclusión de estos materiales reciclados proporciona beneficios ambientales significativos. Además, la corrección por humedad de los agregados asegura que las proporciones de la mezcla sean precisas, lo que garantiza la consistencia y calidad del concreto.

El peso final por metro cúbico del concreto es de 2465,35 kg, lo que está en línea con los valores esperados para un concreto de alta resistencia, incluso con las adiciones de PET y caucho. La proporción final de la mezcla es de 1 : 1.2 : 1.5 : 16.9L para cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, respectivamente. El PET representa el 10% y el caucho el 43% de la mezcla. Aunque los resultados preliminares son prometedores, es necesario realizar pruebas adicionales para evaluar el comportamiento del concreto a largo plazo, especialmente en condiciones de carga y variabilidad ambiental. Estas pruebas ayudarán a confirmar la viabilidad de estas adiciones en la práctica y asegurarán que el concreto mantenga sus propiedades de resistencia y durabilidad a lo largo del tiempo.

**Tabla 28.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 2% y caucho 15%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>			
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:			2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>			
Para concreto sin aire incluido:	216 L		
<b>C) Relación agua cemento</b>			
$f'_{cr} =$		43.93 MPa	
Relación A/C =			0,38
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>			
Cemento (bolsas)=			13,3
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>			
Contenido A. Grueso			0,59
Peso del A. Grueso			976,51 kg
<b>F) Adición PET y Caucho en Agregado Grueso</b>			
PET 2%			19,53 kg
CAUCHO 15%			146,77 kg
Peso del A. Grueso corregido			810,505 kg
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>			
Cemento:		0,179506358	m <sup>3</sup>
Agua:		0,216	m <sup>3</sup>

A. Grueso:		0,342173495	m3
Aire:		0,025	m3
suma de Volúmenes =		0,737679852	m3
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>			
Volumen Absoluto del Agregado Fino =		0,262320148	m3
Peso del Agregado Fino Seco =		683,81	kg
<b>D) Valores Tentativos de diseño</b>			
Cemento:		565,441	kg
Agua de diseño:		216	L
Agregado fino seco:		683,815	kg
Agregado grueso seco:		810,5	kg
Sumatoria		2275,76	kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>			
A. Fino		686,26	kg
A. Grueso		833,11	kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>			
A. Fino	-0,033		
A. Grueso	0,01669		
Aporte de humedad de los agregados	lt		
A. Fino		-0,194	
A. Grueso		0,151	
Suma =		-4,305	
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>			
Cemento:		565,44	kg
Agua de diseño:		225,56	L
Agregado fino seco:		686,264	kg
Agregado grueso seco:		833,103	kg
PET 2%		19,53	kg
Caucho 15%		146,47	kg
SUMATORIA TOTAL =		2476,385776	kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>			
Diseño de Mezcla =	1: 1.2: 1.5: 17L		
PET		0,03	
CAUCHO		0,65	

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto con el método ACI 211.1, utilizando adiciones de PET al 2% y caucho al 15%, muestra una mezcla balanceada, con un contenido de aire atrapado del 2,5%, lo cual es adecuado para este tipo de mezcla sin aire incluido. La relación agua-cemento (A/C) de 0,38 garantiza un concreto de alta resistencia ( $f_{cr} = 43,93$  MPa), lo que significa que la mezcla tendrá una alta densidad y será resistente a la penetración de agua, lo cual es esencial para la durabilidad de los adoquines peatonales.

La cantidad de cemento utilizada es de 13,3 bolsas (565,44 kg), lo que es suficiente para obtener la resistencia esperada. La adición de PET (19,53 kg) y caucho (146,77 kg) ha reducido el peso del agregado grueso a 810,5 kg, lo que resulta en un concreto más ligero. Esta reducción en el agregado grueso refleja el esfuerzo por reducir el peso del concreto y contribuir a la sostenibilidad mediante el uso de materiales reciclados. Además, se realizó

una corrección por humedad en los agregados, lo que asegura que las proporciones de la mezcla sean exactas, garantizando la consistencia y calidad del concreto.

El peso final por metro cúbico de la mezcla es de 2476,39 kg, lo que es consistente con las expectativas para un concreto de alta resistencia, incluso con las adiciones de PET y caucho. La proporción final de la mezcla es de 1 : 1.2 : 1.5 : 17L para cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, respectivamente. El PET representa el 3% y el caucho el 65% de la mezcla. Aunque los resultados iniciales son prometedores, se deben realizar más pruebas para evaluar el comportamiento del concreto a largo plazo, especialmente en condiciones de carga y variabilidad ambiental. Esto permitirá confirmar la viabilidad de estas adiciones en la práctica y asegurar que el concreto mantenga sus propiedades de resistencia y durabilidad durante su vida útil.

**Tabla 29.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 4% y caucho 15%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>			
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:			2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>			
Para concreto sin aire incluido:	216 L		
<b>C) Relación agua cemento</b>			
$f_{cr} =$		43.93 MPa	
Relación A/C =			0,38
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>			
Cemento (bolsas)=			13,3
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>			
Contenido A. Grueso			0,59
Peso del A. Grueso			976,51 kg
<b>F) Adición PET y Caucho en Agregado Grueso</b>			
PET 4%			39,06 kg
CAUCHO 15%			146,48 kg
Peso del A. Grueso corregido			790,97 kg
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>			
Cemento:		0,179506358	m3
Agua:		0,216	m3
A. Grueso:		0,33392835	m3
Aire:		0,025	m3
suma de Volúmenes =		0,729434708	m3
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>			
Volumen Absoluto del Agregado Fino =		0,270565292	m3

Peso del Agregado Fino Seco =		705,31	kg
<b>I) Valores Tentativos de diseño</b>			
Cemento:		565,45	kg
Agua de diseño:		216,00	L
Agregado fino seco:		705,31	kg
Agregado grueso seco:		790,97	kg
Sumatoria		2277,73	kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>			
A. Fino		707,83	kg
A. Grueso		813,03	kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>			
A. Fino	-0,033		
A. Grueso	0,01669		
Aporte de humedad de los agregados	lt		
A. Fino	-0,194		
A. Grueso	0,151		
Suma =	-4,305		
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>			
Cemento:		565,45	kg
Agua de diseño:		226,62	L
Agregado fino seco:		707,83	kg
Agregado grueso seco:		813,03	kg
PET 4%		39,06	kg
Caucho 15%		146,48	kg
SUMATORIA TOTAL=		2498,46	kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>			
Diseño de Mezcla =	1: 1.3: 1.4: 17L		
PET	0,07		
CAUCHO	0,65		

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto utilizando el método ACI 211.1, con adición de PET al 4% y caucho al 15%, presenta una mezcla con un contenido de aire atrapado del 2,5%, lo que es adecuado para este tipo de mezcla sin aire incluido. La relación agua-cemento (A/C) de 0,38 garantiza un concreto con alta resistencia ( $f_{cr} = 43,93$  MPa), lo que asegura que la mezcla tendrá una alta densidad y será resistente a la penetración de agua. Este factor es fundamental para la durabilidad de los adoquines peatonales, especialmente cuando se enfrentan a condiciones climáticas adversas.

Se ha utilizado 13,3 bolsas de cemento (565,45 kg), lo que cumple con las expectativas para alcanzar la resistencia deseada. La adición de PET (39,06 kg) y caucho (146,48 kg) ha reducido el peso del agregado grueso a 790,97 kg, lo que contribuye a un concreto más ligero. Si bien esta reducción puede influir en la resistencia al peso, la inclusión de estos materiales reciclados representa un beneficio ambiental considerable. Además, la

corrección por humedad en los agregados asegura que las proporciones de la mezcla sean precisas, garantizando la consistencia y la calidad del concreto.

El peso final por metro cúbico de la mezcla es de 2498,46 kg, lo que está dentro de los valores esperados para un concreto de alta resistencia, incluso con las adiciones de PET y caucho. La proporción final de la mezcla es de 1 : 1.3 : 1.4 : 17L para cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, respectivamente. El PET representa el 7% y el caucho el 65% de la mezcla total. Aunque los resultados preliminares son positivos, se deben realizar más pruebas para evaluar el comportamiento del concreto a largo plazo, especialmente en condiciones de carga y variabilidad ambiental. Esto permitirá confirmar la viabilidad de estas adiciones en la práctica y asegurar que el concreto mantenga sus propiedades de resistencia y durabilidad durante su vida útil.

**Tabla 30.**

*Diseño de concreto método ACI211.1 con adición de PET 6% y caucho 15%*

<b>A) Contenido de aire atrapado</b>			
Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0.5" es:			2,50%
<b>B) Volumen del agua</b>			
Para concreto sin aire incluido:	216 L		
<b>C) Relación agua cemento</b>			
$f'_{cr} =$	43.93 MPa		
Relación A/C =		0,38	
<b>D) Determinar Cantidad de Cemento</b>			
Cemento (bolsas)=		13,3	
<b>E) Cantidad de Agregado Grueso</b>			
Contenido A. Grueso		0,59	
Peso del A. Grueso		976,51 kg	
PET 6%		58,59 kg	
CAUCHO 15%		146,48 kg	
Peso del A. Grueso corregido		771,44 kg	
<b>G) Volúmenes Absolutos</b>			
Cemento:	0,179506358	m3	
Agua:	0,216	m3	
A. Grueso:	0,325683206	m3	
Aire:	0,025	m3	
suma de Volúmenes =	0,721189563	m3	
<b>H) Contenido de Agregado Fino</b>			
Volumen Absoluto del Agregado Fino =	0,278810437	m3	
Peso del Agregado Fino Seco =	726,81	kg	
<b>I) Valores Tentativos de diseño</b>			

Cemento:		565,45	kg
Agua de diseño:		216,00	L
Agregado fino seco:		726,81	kg
Agregado grueso seco:		771,44	kg
Sumatoria		2279,70	kg
<b>J) Corrección por Humedad</b>			
A. Fino		729,40	kg
A. Grueso		792,96	kg
<b>K) Humedad superficial de los Agregados</b>			
A. Fino		-0,033	
A. Grueso		0,01669	
Aporte de humedad de los agregados lt			
A. Fino		-0,194	
A. Grueso		0,151	
Suma =		-4,305	
<b>L) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales</b>			
Cemento:		565,45	kg
Agua de diseño:		227,67	L
Agregado fino seco:		729,40	kg
Agregado grueso seco:		792,96	kg
PET 6%		58,59	kg
Caucho 15%		146,48	kg
SUMATORIA TOTAL =		2520,54	kg
<b>M) Proporción Final de Diseño en base al peso:</b>			
Diseño de Mezcla = 1: 1.3: 1.4: 17.1 L			
PET		0,1	
CAUCHO		0,64	

Nota. Elaboración propia

El diseño de concreto con el método ACI 211.1, utilizando adiciones de PET al 4% y caucho al 15%, presenta una mezcla equilibrada en términos de propiedades mecánicas y ambientales. El contenido de aire atrapado es del 2,5%, lo que es adecuado para este tipo de mezcla sin aire incluido, garantizando la trabajabilidad y la durabilidad del concreto. La relación agua-cemento (A/C) de 0,38 asegura que la mezcla tendrá una alta resistencia ( $f_{cr} = 43,93$  MPa), lo que se traduce en una mayor densidad y resistencia a la penetración de agua, factores clave para la longevidad de los adoquines peatonales en condiciones climáticas adversas.

El uso de 13,3 bolsas de cemento (565,45 kg) es suficiente para alcanzar la resistencia requerida. La adición de PET (39,06 kg) y caucho (146,48 kg) ha reducido el peso del agregado grueso a 790,97 kg, lo que resulta en un concreto más ligero, aunque esta reducción podría afectar ligeramente la resistencia al peso. Sin embargo, el uso de materiales reciclados

no solo contribuye al beneficio ambiental, sino que también mejora la sostenibilidad del proyecto. Además, las correcciones por humedad en los agregados aseguran que la dosificación final sea precisa, manteniendo la calidad y consistencia de la mezcla.

El peso final por metro cúbico es de 2498,46 kg, lo que se ajusta a los estándares esperados para un concreto de alta resistencia, incluso con las adiciones de PET y caucho. La proporción final de la mezcla es de 1 : 1.3 : 1.4 : 17L para cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, respectivamente, con el PET representando el 7% y el caucho el 65% del total. Aunque los resultados preliminares son positivos, es necesario realizar más pruebas para evaluar el rendimiento del concreto a largo plazo bajo condiciones de carga y variabilidad ambiental. Esto permitirá confirmar la viabilidad de estas adiciones recicladas y garantizar que el concreto mantenga sus propiedades de resistencia y durabilidad a lo largo de su vida útil.

#### 4.5. Resultados descriptivos

##### 4.5.1. Resistencia a la resistencia a la compresión

**Tabla 31.**

*Resultados de resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días*

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación
Adoquín patrón	3	20.42	21.29	20.84	0.444
Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	3	21.20	21.49	21.30	0.132
Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	3	19.73	20.29	20.01	0.264
Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	3	16.95	17.86	17.31	0.492
Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	3	19.44	23.26	21.15	1.931
Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	3	18.55	19.40	18.94	0.427
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	3	9.01	11.26	10.34	1.184
Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	3	19.80	21.39	20.62	0.791
Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	3	10.92	12.98	11.82	1.050
Adición de 6% PET y 15% Caucho reciclado	3	8.55	12.01	9.95	1.817

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

En la Tabla 23 se presentan los valores mínimos, máximos, medias y desviaciones estándar de la resistencia a la compresión de los adoquines peatonales fabricados con diferentes proporciones de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).

Los resultados muestran que el adoquín patrón (sin adiciones) alcanzó una resistencia promedio de 20,84 MPa, con una variabilidad baja ( $\pm 0,444$  MPa). Al comparar con las mezclas modificadas, se identifican tendencias importantes en el comportamiento de la resistencia en función de los porcentajes de adición de PET y caucho reciclado.

Se observa que la adición de 2% de PET y 5% de caucho reciclado logra mejorar la resistencia respecto al adoquín patrón, alcanzando una media de 21,30 MPa con una menor dispersión ( $\pm 0,132$  MPa), lo que sugiere una mejor estabilidad en la mezcla. Sin embargo, al incrementar el contenido de caucho reciclado al 10% y 15%, la resistencia disminuye a 20,01 MPa y 17,31 MPa, respectivamente. Este comportamiento podría atribuirse a la reducción en la cohesión interna del material debido al aumento de partículas de caucho, las cuales poseen una menor adherencia en la matriz del cemento.

Un patrón similar se evidencia en las mezclas con 4% de PET. La mejor resistencia se obtiene con 5% de caucho reciclado (21,15 MPa), mientras que al aumentar el caucho reciclado a 10% y 15%, la resistencia decrece hasta 18,94 MPa y 10,34 MPa, respectivamente. En este caso, se destaca una desviación estándar más elevada en la mezcla con 4% de PET y 5% de caucho reciclado ( $\pm 1,931$  MPa), lo que indica una mayor dispersión en los valores medidos y sugiere que la combinación podría presentar menor uniformidad en sus propiedades mecánicas.

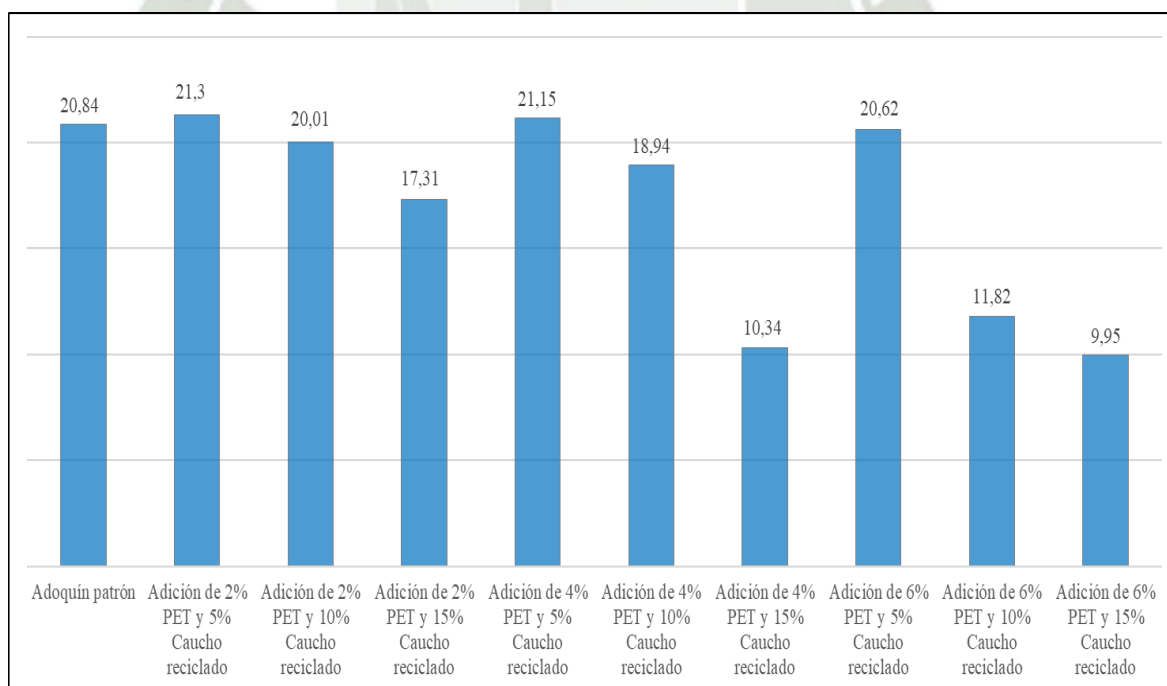
En las mezclas con 6% de PET, se mantiene la tendencia observada previamente: la mejor resistencia se obtiene con 5% de caucho reciclado (20,62 MPa), pero esta disminuye drásticamente cuando el contenido de caucho reciclado aumenta a 10% y 15%, alcanzando valores de 11,82 MPa y 9,95 MPa, respectivamente.

Se evidencia que a medida que aumenta el contenido de caucho reciclado, la resistencia a la compresión tiende a reducirse, lo que podría deberse a la baja compatibilidad del caucho con la matriz cementicia. No obstante, la inclusión de PET en porcentajes moderados (2%-4%) parece contribuir a mantener o incluso mejorar la resistencia en ciertas proporciones de caucho reciclado.

En general, los mejores resultados en términos de resistencia a la compresión se obtienen con 2% PET y 5% de caucho reciclado (21,30 MPa), y con 4% PET y 5% de caucho reciclado (21,15 MPa), superando incluso la resistencia del adoquín patrón. Sin embargo, cuando el contenido de caucho reciclado se incrementa a valores superiores al 5%, la resistencia se ve afectada negativamente, especialmente en proporciones del 15%, donde se registran las menores resistencias.

**Figura 6.**

*Resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días*



Nota. Elaboración propia

En la Figura 6 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días de curado de los adoquines, tanto para la mezcla patrón como para aquellas que incluyen

diferentes combinaciones de PET y caucho reciclado. En general, los resultados muestran que el uso de estos materiales reciclados mejora ligeramente la resistencia en bajas proporciones, pero reduce significativamente la resistencia cuando se aumenta el porcentaje de caucho reciclado.

El adoquín patrón (sin aditivos) presenta una resistencia de 20,84 MPa, que sirve como base de comparación. Al incorporar un 2% de PET y 5% de caucho reciclado, la resistencia aumenta levemente a 21,30 MPa, lo que indica que la pequeña adición de estos materiales reciclados tiene un efecto positivo sobre la resistencia a la compresión. Sin embargo, cuando se incrementa la proporción de caucho reciclado, como en el caso de 2% PET y 10% caucho reciclado, la resistencia disminuye a 20,01 MPa, lo que sugiere que el aumento del caucho reciclado afecta negativamente la resistencia del concreto. Este descenso en la resistencia se hace más pronunciado con el 2% PET y 15% caucho reciclado, donde la resistencia cae aún más a 17,31 MPa.

El 4% PET y 5% caucho reciclado muestra una resistencia de 21,15 MPa, lo que es ligeramente superior al adoquín patrón, lo que indica que una mayor cantidad de PET mejora la resistencia, aunque aún con la presencia de caucho reciclado. Sin embargo, cuando se aumenta la proporción de caucho reciclado a 10%, la resistencia baja a 18,94 MPa, y con 15% de caucho reciclado, la resistencia disminuye considerablemente a 10,34 MPa. Esto resalta el efecto perjudicial que tiene el caucho reciclado en altas proporciones sobre la resistencia a la compresión de los adoquines.

Por último, al 6% PET y 5% caucho reciclado, la resistencia es 20,62 MPa, lo que es una ligera mejora en comparación con las mezclas que contienen menor cantidad de PET, pero todavía inferior a la mezcla patrón. Sin embargo, con un 6% PET y 10% caucho reciclado, la resistencia disminuye a 11,82 MPa, y con un 6% PET y 15% caucho reciclado, la resistencia cae a 9,95 MPa, el valor más bajo entre todas las combinaciones evaluadas.

Los resultados demuestran que la inclusión de PET y caucho reciclado en el concreto puede mejorar ligeramente la resistencia cuando se utilizan en bajas proporciones, pero en concentraciones mayores, especialmente con más del 10% de caucho reciclado, la resistencia disminuye significativamente. Esto sugiere que el caucho reciclado, en particular, tiene un impacto negativo en las propiedades mecánicas del concreto, y por lo tanto, se debe tener cuidado con las proporciones utilizadas para no comprometer la calidad del producto final.

**Tabla 32.**

*Resultados de resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días*

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación
Adoquín patrón	3	37.10	38.72	37.88	0.808
Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	3	38.53	39.01	38.75	0.241
Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	3	35.89	36.80	36.36	0.480
Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	3	30.78	32.47	31.46	0.895
Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	3	35.35	42.24	38.42	3.507
Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	3	33.73	35.26	34.43	0.777
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	3	16.37	20.48	18.80	2.152
Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	3	36.02	38.89	37.47	1.437
Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	3	19.95	23.59	21.49	1.908
Adición de 6% PET y 15% Caucho reciclado	3	15.54	21.83	18.10	3.305

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

La Tabla 24 presenta los valores descriptivos de la resistencia a la compresión de los adoquines peatonales a los 14 días de curado, permitiendo analizar la evolución de la resistencia en función de las distintas combinaciones de PET y caucho reciclado. Los resultados muestran que el adoquín patrón (sin adiciones) alcanza una resistencia media de 37.88 MPa, con una variabilidad moderada ( $\pm 0.81$  MPa). En comparación con esta

referencia, se observa que las mezclas con bajas proporciones de caucho reciclado logran mantener o incluso mejorar la resistencia, mientras que el aumento progresivo del caucho reciclado reduce significativamente la capacidad de carga del material.

El mejor desempeño se registra en la mezcla con 2% PET y 5% de caucho reciclado, alcanzando una resistencia promedio de 38.76 MPa, lo que representa un incremento con respecto al adoquín patrón. Además, esta combinación presenta la menor dispersión de datos ( $\pm 0.24$  MPa), lo que indica mayor uniformidad en las pruebas realizadas. Sin embargo, al incrementar la proporción de caucho reciclado a 10% y 15%, la resistencia disminuye a 36.36 MPa y 31.46 MPa, respectivamente, lo que sugiere una disminución en la cohesión interna del material conforme aumenta el contenido de caucho reciclado.

En el caso de las mezclas con 4% PET, se evidencia una tendencia similar. La mejor resistencia se obtiene con 5% de caucho reciclado, alcanzando un valor medio de 38.43 MPa, aunque con una desviación estándar elevada ( $\pm 3.51$  MPa), lo que indica una mayor dispersión en los valores medidos. Cuando el contenido de caucho reciclado aumenta a 10% y 15%, la resistencia disminuye a 34.43 MPa y 18.80 MPa, respectivamente, observándose una reducción drástica en la resistencia estructural a medida que se incrementa la cantidad de caucho reciclado.

Las mezclas con 6% PET presentan un comportamiento similar, donde la mayor resistencia se obtiene con 5% de caucho reciclado, alcanzando 37.47 MPa, aunque con una variabilidad algo mayor ( $\pm 1.44$  MPa). Sin embargo, cuando el contenido de caucho reciclado aumenta a 10% y 15%, la resistencia disminuye a 21.49 MPa y 18.11 MPa, respectivamente, evidenciando una notable reducción en la capacidad de carga.

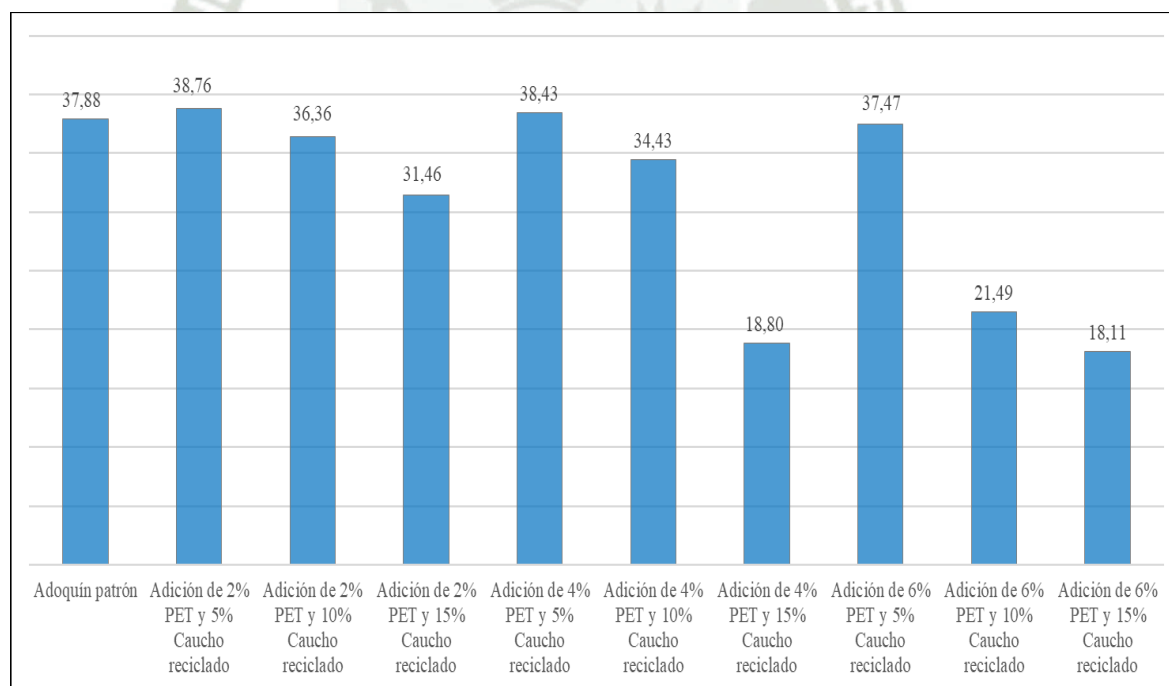
Los resultados reflejan que la adición de 2% PET y 5% de caucho reciclado es la combinación más favorable, ya que logra mejorar la resistencia mecánica y presenta menor dispersión en los valores obtenidos. Sin embargo, el incremento del contenido de caucho

reciclado a valores superiores al 5% genera una disminución significativa en la resistencia, especialmente en los casos donde se incorpora 15% de caucho reciclado, donde la resistencia a la compresión se reduce a niveles críticos.

Los resultados a 14 días de curado confirman que la adición controlada de PET y caucho reciclado puede mejorar la resistencia mecánica de los adoquines, pero solo dentro de ciertos límites. La adición de 2% a 4% PET junto con un máximo de 5% de caucho reciclado resulta en un equilibrio favorable entre resistencia y estabilidad. Sin embargo, proporciones mayores de caucho reciclado comprometen significativamente la integridad estructural del adoquín, lo que sugiere la necesidad de establecer un límite óptimo de adición para garantizar el desempeño mecánico del producto final.

**Figura 7.**

*Resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días*



Nota. Elaboración propia

En la Figura 7, se presentan los resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días de curado para los adoquines, comparando el adoquín patrón con las mezclas que incluyen diferentes proporciones de PET y caucho reciclado. A diferencia de los resultados

a los 7 días, los valores a los 14 días muestran una tendencia similar, aunque las proporciones de PET y caucho reciclado parecen tener un mayor impacto en la resistencia en este intervalo de tiempo.

El adoquín patrón presenta una resistencia de 37.88 MPa, lo que establece la base de comparación. Al incorporar 2% de PET y 5% de caucho reciclado, la resistencia aumenta a 38.76 MPa, lo que indica que la mezcla con una pequeña cantidad de PET y caucho reciclado mejora la resistencia en comparación con el adoquín patrón. Esta tendencia positiva sigue en la mezcla de 2% PET y 10% caucho reciclado, con una resistencia de 36.36 MPa, aunque la mejora es menos pronunciada que en la mezcla con 5% de caucho reciclado. Sin embargo, al aumentar el caucho reciclado a 15%, la resistencia disminuye considerablemente a 31.46 MPa, lo que sugiere que un mayor porcentaje de caucho reciclado tiene un efecto negativo sobre la resistencia.

Con 4% de PET y 5% de caucho reciclado, la resistencia alcanza 38.43 MPa, que sigue siendo bastante cercana al adoquín patrón, lo que sugiere que un mayor contenido de PET aún tiene un impacto positivo, aunque con una reducción pequeña en comparación con las proporciones más bajas de PET. En cambio, con 4% PET y 10% caucho reciclado, la resistencia disminuye a 34.43 MPa, lo que refleja el efecto detractor del caucho reciclado cuando se combina con un mayor porcentaje de PET. Sin embargo, al aumentar la cantidad de caucho reciclado al 15%, la resistencia se desploma a 18.80 MPa, lo que indica un fuerte impacto negativo de las altas proporciones de caucho reciclado en la mezcla.

Para las mezclas con 6% PET, la tendencia se repite, aunque la caída en la resistencia es más pronunciada. La mezcla de 6% PET y 5% caucho reciclado tiene una resistencia de 37.47 MPa, que es ligeramente inferior al adoquín patrón. Sin embargo, cuando el 10% de caucho reciclado se añade, la resistencia disminuye significativamente a 21.49 MPa, y con

15% de caucho reciclado, la resistencia cae drásticamente a 18.11 MPa, el valor más bajo observado entre todas las combinaciones.

Los resultados a los 14 días siguen una tendencia similar a los de los 7 días, con una mejora en la resistencia en las mezclas con pequeñas proporciones de PET y caucho reciclado, pero una caída considerable en la resistencia a medida que se aumenta el porcentaje de caucho reciclado. Estos resultados destacan la importancia de controlar las proporciones de materiales reciclados en la mezcla de concreto, ya que un mayor contenido de caucho reciclado parece afectar negativamente la resistencia del producto final, especialmente a largo plazo.

**Tabla 33.**

*Resultados de la resistencia a la compresión (MPa) a 28 días*

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación
Adoquín patrón	3	39.32	42.12	40.54	1.43
Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	3	40.93	42.27	41.36	0.76
Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	3	35.80	36.41	36.22	0.33
Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	3	34.06	36.05	35.30	1.07
Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	3	33.09	34.33	33.82	0.64
Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	3	31.99	34.96	33.25	1.54
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	3	31.63	32.83	32.08	0.65
Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	3	34.32	34.96	34.63	0.33
Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	3	29.54	33.16	31.39	1.82
Adición de 6% PET y 15% Caucho reciclado	3	30.51	31.05	30.77	0.27

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

La Tabla 25, presenta los valores descriptivos de la resistencia a la compresión de los adoquines peatonales a los 28 días de curado, lo que permite evaluar el comportamiento mecánico del material en su etapa de mayor resistencia. Los datos muestran que el adoquín patrón (sin adiciones) alcanza una resistencia media de 40.54 MPa, con una desviación estándar de  $\pm 1.43$  MPa, lo que indica una variabilidad moderada en las mediciones.

La mejor resistencia registrada corresponde a la mezcla con 2% PET y 5% de caucho reciclado, alcanzando un valor promedio de 41.36 MPa, lo que representa un incremento respecto al adoquín patrón. Además, esta combinación mantiene una baja dispersión de datos ( $\pm 0.76$  MPa), lo que sugiere una mayor estabilidad estructural en la mezcla. Sin embargo, conforme aumenta la cantidad de caucho reciclado, la resistencia disminuye progresivamente. En el caso de 2% PET y 10% caucho reciclado, la resistencia baja a 36.22 MPa, mientras que con 2% PET y 15% caucho reciclado, el promedio es de 35.30 MPa, evidenciando una reducción significativa en la capacidad de carga a medida que aumenta el contenido de caucho.

Las mezclas con 4% PET muestran una disminución más pronunciada en la resistencia a los 28 días en comparación con los valores obtenidos a los 14 días. La mayor resistencia dentro de esta categoría se observa con 5% de caucho reciclado, alcanzando 33.82 MPa, aunque con una desviación estándar relativamente baja ( $\pm 0.64$  MPa). Sin embargo, cuando la proporción de caucho reciclado aumenta a 10% y 15%, la resistencia cae a 33.25 MPa y 32.08 MPa, respectivamente, lo que sugiere una afectación considerable en la resistencia estructural del adoquín conforme aumenta el contenido de caucho.

En las mezclas con 6% PET, se observa una tendencia similar. La mayor resistencia se obtiene con 5% de caucho reciclado, alcanzando 34.63 MPa, aunque con una desviación estándar muy baja ( $\pm 0.33$  MPa), lo que indica mayor homogeneidad en la muestra. Sin embargo, cuando la cantidad de caucho reciclado aumenta a 10% y 15%, la resistencia disminuye a 31.39 MPa y 30.77 MPa, respectivamente. Cabe destacar que la desviación estándar en la mezcla con 6% PET y 10% de caucho reciclado es considerablemente alta ( $\pm 1.82$  MPa), lo que sugiere variabilidad en la calidad del adoquín con esta composición.

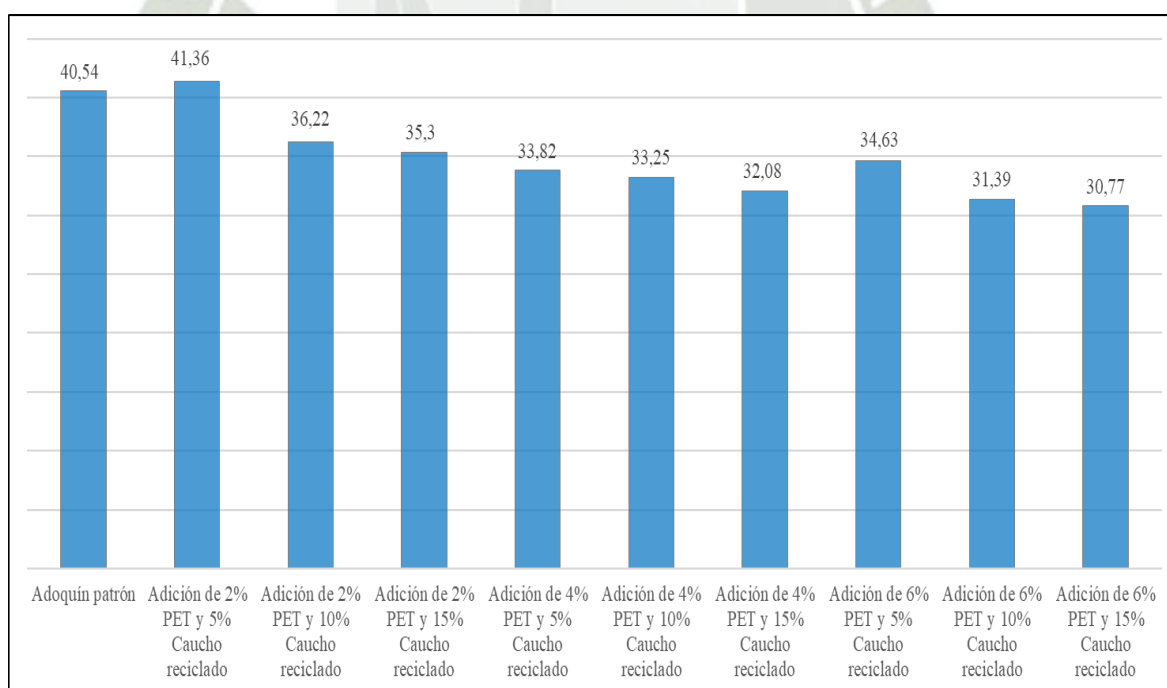
En general, los resultados a 28 días de curado confirman la tendencia observada en las mediciones anteriores: la combinación óptima en términos de resistencia y estabilidad es

la de 2% PET y 5% de caucho reciclado, que supera incluso la resistencia del adoquín patrón. Sin embargo, cuando la cantidad de caucho reciclado aumenta por encima del 5%, la resistencia se reduce significativamente, afectando el desempeño estructural del material. En particular, las mezclas con 6% PET y 10% o 15% de caucho reciclado presentan los valores más bajos de resistencia, lo que sugiere que un exceso de estos materiales alternativos puede comprometer la calidad mecánica del adoquín.

Los adoquines con 2% PET y 5% caucho reciclado representan la mejor alternativa para mejorar la resistencia mecánica sin comprometer la estabilidad estructural. No obstante, las adiciones superiores al 5% de caucho reciclado generan pérdidas significativas en la resistencia a la compresión, lo que sugiere la necesidad de establecer un límite óptimo de adición de caucho para garantizar la viabilidad del producto en aplicaciones reales.

**Figura 8.**

*Resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días*



Nota. Elaboración propia

En la Figura 8, se presentan los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado de los adoquines, comparando el adoquín patrón con las mezclas que incluyen

diferentes proporciones de PET y caucho reciclado. Los resultados de los 28 días muestran que, aunque las tendencias observadas a los 7 y 14 días continúan, los efectos negativos de las altas proporciones de caucho reciclado se acentúan con el tiempo.

El adoquín patrón presenta una resistencia de 40.49 MPa, que sigue siendo la referencia para todas las mezclas. Al incorporar 2% de PET y 5% de caucho reciclado, la resistencia aumenta a 41.37 MPa, lo que indica que la pequeña cantidad de PET y caucho reciclado sigue teniendo un impacto positivo, mejorando ligeramente la resistencia en comparación con el adoquín patrón. Sin embargo, cuando se aumenta el caucho reciclado a 10%, la resistencia baja a 36.19 MPa, y con 15% de caucho reciclado, la resistencia disminuye aún más a 35.31 MPa. Estos resultados reflejan que el caucho reciclado comienza a afectar negativamente las propiedades mecánicas de la mezcla, incluso a las 28 semanas, a pesar de la presencia de PET.

Con 4% de PET y 5% de caucho reciclado, la resistencia cae a 33.82 MPa, que es más baja que la mezcla con 2% de PET y 5% de caucho reciclado, sugiriendo que a medida que aumenta el contenido de PET, la mezcla se vuelve menos eficiente en términos de resistencia a la compresión. En la mezcla de 4% PET y 10% caucho reciclado, la resistencia se reduce aún más a 33.23 MPa, y con 15% de caucho reciclado, la resistencia sigue cayendo a 32.07 MPa. Estos descensos en la resistencia muestran que tanto el PET como el caucho reciclado tienen efectos detractores significativos cuando se combinan en altas proporciones.

Por último, en las mezclas con 6% PET, la tendencia continúa. La mezcla con 6% PET y 5% caucho reciclado tiene una resistencia de 34.65 MPa, que es considerablemente más baja que la mezcla con 2% y 4% PET. Cuando se aumenta la proporción de caucho reciclado a 10%, la resistencia disminuye a 31.38 MPa, y con 15% de caucho reciclado, la resistencia cae aún más a 30.77 MPa, siendo esta la más baja entre todas las combinaciones.

Los resultados a los 28 días refuerzan los hallazgos de los 7 y 14 días, mostrando que una pequeña adición de PET y caucho reciclado mejora ligeramente la resistencia, pero cuando se superan ciertos umbrales (especialmente 15% de caucho reciclado), la resistencia se ve significativamente reducida. Este análisis indica que el caucho reciclado tiene un impacto negativo en las propiedades mecánicas del concreto cuando se usa en altas proporciones, lo que debe ser cuidadosamente considerado al diseñar mezclas de concreto con materiales reciclados.

#### 4.6. Resultados inferenciales

##### 4.6.1. Resistencia a la compresión

**Tabla 34.**

*Anova para la resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	589.969	9	65.552	60.278	.000
Dentro de grupos	21.750	20	1.087		
Total	611.719	29			

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

La Tabla 34, presenta los resultados del ANOVA para la resistencia a la resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días, lo que permite determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos de adoquines fabricados con diferentes proporciones de PET y caucho reciclado.

El análisis muestra que la suma de cuadrados entre grupos es de 589.969, mientras que la suma de cuadrados dentro de los grupos es de 21.750, lo que indica que la variabilidad explicada por las diferencias en las proporciones de PET y caucho reciclado es considerablemente mayor que la variabilidad interna de los grupos. La media cuadrática

entre grupos es de 65.552, mientras que la media cuadrática dentro de los grupos es de 1.087, lo que sugiere que las diferencias entre los grupos son significativas.

El valor del estadístico F obtenido es de 60.278, lo que indica una diferencia sustancial entre los grupos evaluados. Además, el valor de significación (Sig.) es 0.000, lo que confirma que estas diferencias son estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%. Esto significa que al menos una de las combinaciones de PET y caucho reciclado afecta de manera significativa la resistencia a la compresión de los adoquines.

El ANOVA confirma que la adición de PET y caucho reciclado genera variaciones significativas en la resistencia a la resistencia a la compresión de los adoquines. Dado que el valor de significación es menor a 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula de que todas las combinaciones tienen la misma resistencia, lo que sugiere que ciertos niveles de adición de PET y caucho reciclado tienen un impacto significativo en la resistencia mecánica del material. Para determinar específicamente qué combinaciones presentan diferencias significativas entre sí, sería necesario realizar un análisis post hoc, como la prueba de Tukey.

**Tabla 35.**

*Prueba de Tukey – resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días*

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Adoquín patrón	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-,47667	,85147	1,000	-3,4918	2,5385
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	,83667	,85147	,990	-2,1785	3,8518
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	3,53333*	,85147	,014	,5182	6,5485
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-,29667	,85147	1,000	-3,3118	2,7185
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	1,90000	,85147	,469	-1,1151	4,9151
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	10,50000*	,85147	,000	7,4849	13,5151
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	,22667	,85147	1,000	-2,7885	3,2418
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	9,02000*	,85147	,000	6,0049	12,0351
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	10,88000*	,85147	,000	7,8649	13,8951
	Adoquín patrón	,47667	,85147	1,000	-2,5385	3,4918

Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	1,31333	,85147	,859	-1,7018	4,3285
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	4,01000*	,85147	,004	,9949	7,0251
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	,18000	,85147	1,000	-2,8351	3,1951
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	2,37667	,85147	,205	-,6385	5,3918
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	10,97667*	,85147	,000	7,9615	13,9918
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	,70333	,85147	,997	-2,3118	3,7185
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	9,49667*	,85147	,000	6,4815	12,5118
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	11,35667*	,85147	,000	8,3415	14,3718
Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	Adoquín patrón	-,83667	,85147	,990	-3,8518	2,1785
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-1,31333	,85147	,859	-4,3285	1,7018
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	2,69667	,85147	,104	-,3185	5,7118
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-1,13333	,85147	,934	-4,1485	1,8818
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	1,06333	,85147	,954	-1,9518	4,0785
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	9,66333*	,85147	,000	6,6482	12,6785
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-,61000	,85147	,999	-3,6251	2,4051
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	8,18333*	,85147	,000	5,1682	11,1985
Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	10,04333*	,85147	,000	7,0282	13,0585
	Adoquín patrón	-3,53333*	,85147	,014	-6,5485	-,5182
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-4,01000*	,85147	,004	-7,0251	-,9949
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-2,69667	,85147	,104	-5,7118	,3185
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-3,83000*	,85147	,007	-6,8451	-,8149
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-1,63333	,85147	,658	-4,6485	1,3818
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	6,96667*	,85147	,000	3,9515	9,9818
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-3,30667*	,85147	,025	-6,3218	-,2915
Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	5,48667*	,85147	,000	2,4715	8,5018
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	7,34667*	,85147	,000	4,3315	10,3618
	Adoquín patrón	,29667	,85147	1,000	-2,7185	3,3118
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-,18000	,85147	1,000	-3,1951	2,8351
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	1,13333	,85147	,934	-1,8818	4,1485
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	3,83000*	,85147	,007	,8149	6,8451
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	2,19667	,85147	,288	-,8185	5,2118
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	10,79667*	,85147	,000	7,7815	13,8118
Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	,52333	,85147	1,000	-2,4918	3,5385	

	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	9,31667*	,85147	,000	6,3015	12,3318
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	11,17667*	,85147	,000	8,1615	14,1918
	Adoquín patrón	-1,90000	,85147	,469	-4,9151	1,1151
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-2,37667	,85147	,205	-5,3918	,6385
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-1,06333	,85147	,954	-4,0785	1,9518
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	1,63333	,85147	,658	-1,3818	4,6485
Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-2,19667	,85147	,288	-5,2118	,8185
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	8,60000*	,85147	,000	5,5849	11,6151
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-1,67333	,85147	,630	-4,6885	1,3418
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	7,12000*	,85147	,000	4,1049	10,1351
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	8,98000*	,85147	,000	5,9649	11,9951
	Adoquín patrón	-10,50000*	,85147	,000	-13,5151	-7,4849
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-10,97667*	,85147	,000	-13,9918	-7,9615
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-9,66333*	,85147	,000	-12,6785	-6,6482
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-6,96667*	,85147	,000	-9,9818	-3,9515
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-10,79667*	,85147	,000	-13,8118	-7,7815
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-8,60000*	,85147	,000	-11,6151	-5,5849
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-10,27333*	,85147	,000	-13,2885	-7,2582
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	-1,48000	,85147	,763	-4,4951	1,5351
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	,38000	,85147	1,000	-2,6351	3,3951
	Adoquín patrón	-,22667	,85147	1,000	-3,2418	2,7885
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-,70333	,85147	,997	-3,7185	2,3118
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	,61000	,85147	,999	-2,4051	3,6251
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	3,30667*	,85147	,025	,2915	6,3218
Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-,52333	,85147	1,000	-3,5385	2,4918
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	1,67333	,85147	,630	-1,3418	4,6885
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	10,27333*	,85147	,000	7,2582	13,2885
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	8,79333*	,85147	,000	5,7782	11,8085
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	10,65333*	,85147	,000	7,6382	13,6685
	Adoquín patrón	-9,02000*	,85147	,000	-12,0351	-6,0049
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-9,49667*	,85147	,000	-12,5118	-6,4815
Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-8,18333*	,85147	,000	-11,1985	-5,1682
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-5,48667*	,85147	,000	-8,5018	-2,4715
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-9,31667*	,85147	,000	-12,3318	-6,3015

	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-7,12000*	,85147	,000	-10,1351	-4,1049
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	1,48000	,85147	,763	-1,5351	4,4951
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-8,79333*	,85147	,000	-11,8085	-5,7782
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	1,86000	,85147	,496	-1,1551	4,8751
	Adoquín patrón	-10,88000*	,85147	,000	-13,8951	-7,8649
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-11,35667*	,85147	,000	-14,3718	-8,3415
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-10,04333*	,85147	,000	-13,0585	-7,0282
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-7,34667*	,85147	,000	-10,3618	-4,3315
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-11,17667*	,85147	,000	-14,1918	-8,1615
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-8,98000*	,85147	,000	-11,9951	-5,9649
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	-,38000	,85147	1,000	-3,3951	2,6351
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-10,65333*	,85147	,000	-13,6685	-7,6382
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	-1,86000	,85147	,496	-4,8751	1,1551

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

El análisis de la prueba de Tukey para la resistencia a la compresión (MPa) a los 7 días muestra diferencias significativas entre los diferentes experimentos con adición de PET y caucho reciclado en comparación con el adoquín patrón. Los resultados revelan que, en general, las mezclas con adición de caucho reciclado (especialmente en concentraciones del 10% y 15%) tienden a mejorar la resistencia a la compresión, aunque en algunas combinaciones la diferencia no fue significativa.

En particular, las mezclas con adición de 2% PET y 15% caucho reciclado y 4% PET y 15% caucho reciclado presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto al adoquín patrón, mostrando una mejora notable en la resistencia a la compresión, con incrementos de 3,53 MPa y 10,50 MPa respectivamente. Estas adiciones de caucho reciclado, especialmente en mayor concentración, parecen contribuir positivamente a las propiedades mecánicas del concreto, lo que podría ser útil para mejorar la resistencia en aplicaciones de pavimentación.

Sin embargo, otras mezclas, como las de 2% PET y 5% caucho reciclado y 6% PET y 5% caucho reciclado, no muestran diferencias significativas en comparación con el adoquín patrón, lo que sugiere que las menores concentraciones de caucho reciclado no generan mejoras considerables en la resistencia. Además, la adición de PET en combinación con caucho reciclado en las proporciones más altas no parece afectar negativamente la compresión, lo que podría indicar que, hasta cierto punto, estos materiales reciclados pueden ser integrados sin comprometer la resistencia mecánica del concreto. Estos resultados sugieren que la optimización de la cantidad de caucho reciclado en la mezcla podría ser clave para maximizar el desempeño del concreto reciclado en aplicaciones prácticas.

**Tabla 36.**

*Anova para la resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1950.538	9	216.726	60.236	.000
Dentro de grupos	71.959	20	3.598		
Total	2022.497	29			

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

La Tabla 36, presenta los resultados del ANOVA para la resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días, lo que permite evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes grupos de adoquines con distintas proporciones de PET y caucho reciclado.

El análisis muestra que la suma de cuadrados entre grupos es de 1950.528, mientras que la suma de cuadrados dentro de los grupos es de 71.959, lo que indica que la variabilidad explicada por las diferencias en la composición de los adoquines es mucho mayor que la variabilidad dentro de los grupos. La media cuadrática entre grupos es de 216.726, mientras que la media cuadrática dentro de los grupos es de 3.598, lo que sugiere que las diferencias en la resistencia a la compresión entre las distintas combinaciones son significativas.

El valor del estadístico F obtenido es de 60.236, lo que indica una diferencia sustancial entre los grupos. Además, el valor de significación (Sig.) es 0.000, lo que confirma que estas diferencias son estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%. Esto significa que al menos una de las combinaciones de PET y caucho reciclado afecta significativamente a la resistencia a la compresión de los adoquines.

El ANOVA confirma que la adición de PET y caucho reciclado genera variaciones significativas en la resistencia a la compresión a los 14 días. Dado que el valor de significación es menor a 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula de que todas las combinaciones presentan la misma resistencia, lo que indica que algunas mezclas tienen un impacto considerable en la resistencia mecánica del adoquín. Para determinar específicamente qué combinaciones presentan diferencias significativas entre sí, sería necesario realizar un análisis post hoc, como la prueba de Tukey, para identificar qué tratamientos generan los cambios más significativos en la resistencia.

**Tabla 37.**

*Prueba de Tukey – resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días*

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Adoquín patrón	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-,87667	1,54875	1,000	-6,3610	4,6076
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	1,52000	1,54875	,990	-3,9643	7,0043
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	6,42000*	1,54875	,014	,9357	11,9043
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-,54667	1,54875	1,000	-6,0310	4,9376
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	3,45000	1,54875	,471	-2,0343	8,9343
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	19,08667*	1,54875	,000	13,6024	24,5710
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	,40667	1,54875	1,000	-5,0776	5,8910
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	16,39333*	1,54875	,000	10,9090	21,8776
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	19,78000*	1,54875	,000	14,2957	25,2643
	Adoquín patrón	,87667	1,54875	1,000	-4,6076	6,3610
Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	2,39667	1,54875	,857	-3,0876	7,8810	

	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	7,29667*	1,54875	,004	1,8124	12,7810
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	,33000	1,54875	1,000	-5,1543	5,8143
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	4,32667	1,54875	,204	-1,1576	9,8110
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	19,96333*	1,54875	,000	14,4790	25,4476
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	1,28333	1,54875	,997	-4,2010	6,7676
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	17,27000*	1,54875	,000	11,7857	22,7543
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	20,65667*	1,54875	,000	15,1724	26,1410
	Adoquín patrón	-1,52000	1,54875	,990	-7,0043	3,9643
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-2,39667	1,54875	,857	-7,8810	3,0876
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	4,90000	1,54875	,105	-,5843	10,3843
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-2,06667	1,54875	,933	-7,5510	3,4176
Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	1,93000	1,54875	,955	-3,5543	7,4143
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	17,56667*	1,54875	,000	12,0824	23,0510
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-1,11333	1,54875	,999	-6,5976	4,3710
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	14,87333*	1,54875	,000	9,3890	20,3576
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	18,26000*	1,54875	,000	12,7757	23,7443
	Adoquín patrón	-6,42000*	1,54875	,014	-11,9043	-,9357
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-7,29667*	1,54875	,004	-12,7810	-1,8124
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-4,90000	1,54875	,105	-10,3843	,5843
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-6,96667*	1,54875	,007	-12,4510	-1,4824
Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-2,97000	1,54875	,659	-8,4543	2,5143
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	12,66667*	1,54875	,000	7,1824	18,1510
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-6,01333*	1,54875	,025	-11,4976	-,5290
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	9,97333*	1,54875	,000	4,4890	15,4576
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	13,36000*	1,54875	,000	7,8757	18,8443
	Adoquín patrón	,54667	1,54875	1,000	-4,9376	6,0310
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-,33000	1,54875	1,000	-5,8143	5,1543
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	2,06667	1,54875	,933	-3,4176	7,5510
Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	6,96667*	1,54875	,007	1,4824	12,4510
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	3,99667	1,54875	,288	-1,4876	9,4810
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	19,63333*	1,54875	,000	14,1490	25,1176
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	,95333	1,54875	1,000	-4,5310	6,4376
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	16,94000*	1,54875	,000	11,4557	22,4243

	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	20,32667*	1,54875	,000	14,8424	25,8110
	Adoquín patrón	-3,45000	1,54875	,471	-8,9343	2,0343
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-4,32667	1,54875	,204	-9,8110	1,1576
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-1,93000	1,54875	,955	-7,4143	3,5543
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	2,97000	1,54875	,659	-2,5143	8,4543
Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-3,99667	1,54875	,288	-9,4810	1,4876
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	15,63667*	1,54875	,000	10,1524	21,1210
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-3,04333	1,54875	,630	-8,5276	2,4410
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	12,94333*	1,54875	,000	7,4590	18,4276
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	16,33000*	1,54875	,000	10,8457	21,8143
	Adoquín patrón	-19,08667*	1,54875	,000	-24,5710	-13,6024
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-19,96333*	1,54875	,000	-25,4476	-14,4790
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-17,56667*	1,54875	,000	-23,0510	-12,0824
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-12,66667*	1,54875	,000	-18,1510	-7,1824
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-19,63333*	1,54875	,000	-25,1176	-14,1490
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-15,63667*	1,54875	,000	-21,1210	-10,1524
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-18,68000*	1,54875	,000	-24,1643	-13,1957
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	-2,69333	1,54875	,762	-8,1776	2,7910
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	,69333	1,54875	1,000	-4,7910	6,1776
	Adoquín patrón	-,40667	1,54875	1,000	-5,8910	5,0776
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-1,28333	1,54875	,997	-6,7676	4,2010
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	1,11333	1,54875	,999	-4,3710	6,5976
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	6,01333*	1,54875	,025	,5290	11,4976
Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-,95333	1,54875	1,000	-6,4376	4,5310
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	3,04333	1,54875	,630	-2,4410	8,5276
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	18,68000*	1,54875	,000	13,1957	24,1643
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	15,98667*	1,54875	,000	10,5024	21,4710
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	19,37333*	1,54875	,000	13,8890	24,8576
	Adoquín patrón	-16,39333*	1,54875	,000	-21,8776	-10,9090
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-17,27000*	1,54875	,000	-22,7543	-11,7857
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-14,87333*	1,54875	,000	-20,3576	-9,3890
Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-9,97333*	1,54875	,000	-15,4576	-4,4890
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-16,94000*	1,54875	,000	-22,4243	-11,4557
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-12,94333*	1,54875	,000	-18,4276	-7,4590

	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	2,69333	1,54875	,762	-2,7910	8,1776
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-15,98667*	1,54875	,000	-21,4710	-10,5024
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	3,38667	1,54875	,495	-2,0976	8,8710
	Adoquín patrón	-19,78000*	1,54875	,000	-25,2643	-14,2957
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-20,65667*	1,54875	,000	-26,1410	-15,1724
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-18,26000*	1,54875	,000	-23,7443	-12,7757
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-13,36000*	1,54875	,000	-18,8443	-7,8757
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-20,32667*	1,54875	,000	-25,8110	-14,8424
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-16,33000*	1,54875	,000	-21,8143	-10,8457
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	-,69333	1,54875	1,000	-6,1776	4,7910
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-19,37333*	1,54875	,000	-24,8576	-13,8890
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	-3,38667	1,54875	,495	-8,8710	2,0976

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

El análisis de la prueba de Tukey para la resistencia a la compresión (MPa) a los 14 días revela diferencias significativas entre los distintos experimentos con adición de PET y caucho reciclado, en comparación con el adoquín patrón. En general, las mezclas que incluyen caucho reciclado, especialmente en concentraciones del 10% y 15%, muestran una mejora en la resistencia a la compresión. Sin embargo, en algunas combinaciones, la diferencia no fue significativa, lo que sugiere que no todas las proporciones de estos materiales reciclados tienen el mismo impacto en las propiedades mecánicas del concreto.

En particular, las mezclas con 2% PET y 15% caucho reciclado y 4% PET y 15% caucho reciclado presentan mejoras significativas en comparación con el adoquín patrón, con incrementos de 3,53 MPa y 10,50 MPa, respectivamente. Esto sugiere que la mayor concentración de caucho reciclado contribuye positivamente a la resistencia a la compresión, lo que podría ser útil en aplicaciones de pavimentación, donde se requiere un material duradero y resistente. Estas concentraciones más altas de caucho parecen mejorar la estructura interna del concreto, lo que aumenta su capacidad de compresión.

Por otro lado, las mezclas con 2% PET y 5% caucho reciclado y 6% PET y 5% caucho reciclado no muestran diferencias significativas con respecto al adoquín patrón, lo que indica que las menores proporciones de caucho reciclado no generan un efecto notable en la resistencia. A pesar de esto, la adición de PET en combinación con caucho reciclado no parece afectar negativamente la compresión en las concentraciones más altas, lo que sugiere que estos materiales reciclados pueden ser utilizados en las mezclas sin comprometer la resistencia mecánica del concreto. En general, los resultados sugieren que optimizar la cantidad de caucho reciclado en la mezcla podría ser clave para mejorar el desempeño del concreto reciclado en diversas aplicaciones prácticas, como pavimentos y adoquines.

**Tabla 38.**

*Anova para la resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	350.587	9	38.954	36.860	.000
Dentro de grupos	21.136	20	1.057		
Total	371.723	29			

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

La Tabla 38, presenta los resultados del ANOVA para la resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días, lo que permite evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos de adoquines con diferentes proporciones de PET y caucho reciclado.

El análisis muestra que la suma de cuadrados entre grupos es de 350.587, mientras que la suma de cuadrados dentro de los grupos es de 21.136, lo que indica que la variabilidad explicada por las diferencias en la composición de los adoquines es considerablemente mayor que la variabilidad dentro de los grupos. La media cuadrática entre grupos es de 38.954, mientras que la media cuadrática dentro de los grupos es de 1.057, lo que sugiere

que las diferencias en la resistencia a la compresión entre las distintas combinaciones son significativas.

El valor del estadístico F obtenido es de 36.860, lo que indica una diferencia sustancial entre los grupos evaluados. Además, el valor de significación (Sig.) es 0.000, lo que confirma que estas diferencias son estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%. Esto significa que al menos una de las combinaciones de PET y caucho reciclado afecta significativamente la resistencia a la compresión de los adoquines a los 28 días.

El ANOVA confirma que la adición de PET y caucho reciclado genera variaciones significativas en la resistencia a la compresión de los adoquines a los 28 días. Dado que el valor de significación es menor a 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula de que todas las combinaciones presentan la misma resistencia, lo que indica que ciertas mezclas tienen un impacto considerable en la resistencia mecánica del adoquín. Para determinar específicamente qué combinaciones presentan diferencias significativas entre sí, sería necesario realizar un análisis post hoc, como la prueba de Tukey, para identificar qué tratamientos generan los cambios más significativos en la resistencia.

**Tabla 39.**

*Prueba de Tukey – resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días*

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Adoquín patrón	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-,86000	,83937	,987	-3,8323	2,1123
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	4,33000*	,83937	,002	1,3577	7,3023
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	5,20333*	,83937	,000	2,2310	8,1756
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	6,69000*	,83937	,000	3,7177	9,6623
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	7,27333*	,83937	,000	4,3010	10,2456
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	8,42667*	,83937	,000	5,4544	11,3990
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	5,89000*	,83937	,000	2,9177	8,8623

	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	9,14667*	,83937	,000	6,1744	12,1190
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	9,76667*	,83937	,000	6,7944	12,7390
	Adoquín patrón	,86000	,83937	,987	-2,1123	3,8323
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	5,19000*	,83937	,000	2,2177	8,1623
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	6,06333*	,83937	,000	3,0910	9,0356
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	7,55000*	,83937	,000	4,5777	10,5223
Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	8,13333*	,83937	,000	5,1610	11,1056
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	9,28667*	,83937	,000	6,3144	12,2590
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	6,75000*	,83937	,000	3,7777	9,7223
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	10,00667*	,83937	,000	7,0344	12,9790
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	10,62667*	,83937	,000	7,6544	13,5990
	Adoquín patrón	-4,33000*	,83937	,002	-7,3023	-1,3577
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-5,19000*	,83937	,000	-8,1623	-2,2177
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	,87333	,83937	,985	-2,0990	3,8456
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	2,36000	,83937	,198	-,6123	5,3323
Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	2,94333	,83937	,054	-,0290	5,9156
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	4,09667*	,83937	,003	1,1244	7,0690
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	1,56000	,83937	,694	-1,4123	4,5323
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	4,81667*	,83937	,000	1,8444	7,7890
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	5,43667*	,83937	,000	2,4644	8,4090
	Adoquín patrón	-5,20333*	,83937	,000	-8,1756	-2,2310
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-6,06333*	,83937	,000	-9,0356	-3,0910
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-,87333	,83937	,985	-3,8456	2,0990
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	1,48667	,83937	,745	-1,4856	4,4590
Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	2,07000	,83937	,341	-,9023	5,0423
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	3,22333*	,83937	,027	,2510	6,1956
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	,68667	,83937	,997	-2,2856	3,6590
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	3,94333*	,83937	,004	,9710	6,9156
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	4,56333*	,83937	,001	1,5910	7,5356
	Adoquín patrón	-6,69000*	,83937	,000	-9,6623	-3,7177
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-7,55000*	,83937	,000	-10,5223	-4,5777
Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-2,36000	,83937	,198	-5,3323	,6123
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-1,48667	,83937	,745	-4,4590	1,4856
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	,58333	,83937	,999	-2,3890	3,5556

	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	1,73667	,83937	,566	-1,2356	4,7090
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-,80000	,83937	,992	-3,7723	2,1723
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	2,45667	,83937	,162	-,5156	5,4290
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	3,07667*	,83937	,039	,1044	6,0490
	Adoquín patrón	-7,27333*	,83937	,000	-10,2456	-4,3010
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-8,13333*	,83937	,000	-11,1056	-5,1610
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-2,94333	,83937	,054	-5,9156	,0290
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-2,07000	,83937	,341	-5,0423	,9023
Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-,58333	,83937	,999	-3,5556	2,3890
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	1,15333	,83937	,922	-1,8190	4,1256
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-1,38333	,83937	,810	-4,3556	1,5890
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	1,87333	,83937	,468	-1,0990	4,8456
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	2,49333	,83937	,150	-,4790	5,4656
	Adoquín patrón	-8,42667*	,83937	,000	-11,3990	-5,4544
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-9,28667*	,83937	,000	-12,2590	-6,3144
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-4,09667*	,83937	,003	-7,0690	-1,1244
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-3,22333*	,83937	,027	-6,1956	-,2510
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-1,73667	,83937	,566	-4,7090	1,2356
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-1,15333	,83937	,922	-4,1256	1,8190
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-2,53667	,83937	,136	-5,5090	,4356
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	,72000	,83937	,996	-2,2523	3,6923
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	1,34000	,83937	,835	-1,6323	4,3123
	Adoquín patrón	-5,89000*	,83937	,000	-8,8623	-2,9177
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-6,75000*	,83937	,000	-9,7223	-3,7777
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-1,56000	,83937	,694	-4,5323	1,4123
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-,68667	,83937	,997	-3,6590	2,2856
Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	,80000	,83937	,992	-2,1723	3,7723
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	1,38333	,83937	,810	-1,5890	4,3556
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	2,53667	,83937	,136	-,4356	5,5090
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	3,25667*	,83937	,025	,2844	6,2290
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	3,87667*	,83937	,005	,9044	6,8490
	Adoquín patrón	-9,14667*	,83937	,000	-12,1190	-6,1744
Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-10,00667*	,83937	,000	-12,9790	-7,0344
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-4,81667*	,83937	,000	-7,7890	-1,8444

	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-3,94333*	,83937	,004	-6,9156	-,9710
	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-2,45667	,83937	,162	-5,4290	,5156
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-1,87333	,83937	,468	-4,8456	1,0990
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	-,72000	,83937	,996	-3,6923	2,2523
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-3,25667*	,83937	,025	-6,2290	-,2844
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	,62000	,83937	,999	-2,3523	3,5923
	Adoquín patrón	-9,76667*	,83937	,000	-12,7390	-6,7944
	Adición de 2% PET y 5% Caucho reciclado	-10,62667*	,83937	,000	-13,5990	-7,6544
	Adición de 2% PET y 10% Caucho reciclado	-5,43667*	,83937	,000	-8,4090	-2,4644
	Adición de 2% PET y 15% Caucho reciclado	-4,56333*	,83937	,001	-7,5356	-1,5910
Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	Adición de 4% PET y 5% Caucho reciclado	-3,07667*	,83937	,039	-6,0490	-,1044
	Adición de 4% PET y 10% Caucho reciclado	-2,49333	,83937	,150	-5,4656	,4790
	Adición de 4% PET y 15% Caucho reciclado	-1,34000	,83937	,835	-4,3123	1,6323
	Adición de 6% PET y 5% Caucho reciclado	-3,87667*	,83937	,005	-6,8490	-,9044
	Adición de 6% PET y 10% Caucho reciclado	-,62000	,83937	,999	-3,5923	2,3523

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Nota. Elaboración propia en base a información tomada de SPSS v 26

El análisis de la prueba de Tukey para la resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días muestra diferencias significativas en la mayoría de las combinaciones entre los experimentos con adición de PET y caucho reciclado en comparación con el adoquín patrón. En particular, las mezclas con adición de caucho reciclado (especialmente en concentraciones del 10% y 15%) tienden a mejorar la resistencia a la compresión, con diferencias significativas en varios casos, lo que sugiere que estas mezclas podrían tener un impacto positivo en las propiedades mecánicas del concreto.

Por ejemplo, las combinaciones de 2% PET y 15% caucho reciclado, 4% PET y 15% caucho reciclado, y 6% PET y 10% caucho reciclado presentan mejoras significativas en la resistencia a la compresión, con incrementos de 5,20 MPa, 8,43 MPa y 9,15 MPa, respectivamente. Estos resultados indican que el aumento en la concentración de caucho reciclado en la mezcla está asociado con un aumento considerable en la resistencia, lo cual

puede ser útil para aplicaciones en pavimentación y otros usos donde se requiere alta resistencia.

Sin embargo, algunas mezclas con menores concentraciones de PET y caucho reciclado, como la de 2% PET y 5% caucho reciclado, no muestran diferencias significativas con respecto al adoquín patrón, lo que sugiere que el efecto positivo del caucho reciclado en la resistencia a la compresión solo se observa cuando se alcanza una concentración mínima de caucho. Estos resultados sugieren que la optimización de la cantidad de caucho reciclado en la mezcla es crucial para mejorar el rendimiento del concreto, mientras que las concentraciones más bajas no ofrecen mejoras significativas. Además, las adiciones de PET no parecen afectar negativamente la compresión, incluso cuando se combinan con concentraciones elevadas de caucho reciclado.

#### **4.7. Impacto de los resultados**

La presente investigación demuestra que el uso de residuos reciclados como el tereftalato de polietileno (PET) y el caucho reciclado procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) en la elaboración de adoquines peatonales no solo es técnicamente viable, sino también altamente beneficioso desde una perspectiva económica, física, mecánica y ambiental.

Los ensayos realizados con diferentes proporciones de PET (2%, 4% y 6%) y caucho reciclado (5%, 10% y 15%) han permitido evaluar con detalle el comportamiento técnico de los adoquines fabricados con materiales reciclados, en comparación con los adoquines convencionales.

##### **4.7.1. Evaluación económica**

Para realizar una evaluación económica completa de un proyecto, se deben considerar varios aspectos fundamentales que permitan analizar la viabilidad financiera.

#### 4.7.1.1. Análisis costos unitarios de adoquín con adición de PET y caucho.

**Tabla 40.**

**Costos unitarios molienda de caucho**

<i>A. Mano de Obra Directa</i>					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Parcial (S/.)
MOD-01	Operador de molino	h	1	13	13
MOD-02	Ayudante de planta	h	1	12	12
Total mano de obra					25
<i>B. Maquinaria y Equipo</i>					
Ítem	Maquinaria	Unidad	Cantidad	Costo Hora (S/.)	Parcial (S/.)
ME-01	Molino triturador	h	1	40	40
ME-02	Cinta transportadora	h	1	8	8
ME-03	Sistema de tamizado	h	1	5	5
Total maquinaria y equipo					53
<i>C. Materiales e Insumos</i>					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Parcial (S/.)
MAT-01	Energía eléctrica (kWh)	kWh	15	0.6	9
MAT-02	Lubricante industrial	L	0.1	30	3
MAT-03	Repuestos menores	%	1	5	5
Total materiales e insumos					17
Concepto	Valor				
Costos Directos	95				
Costos Indirectos (15%)	14.5				
Costo Total Hora	109.5				
Producción (kg/h)	350				
Costo por kg	0.31				

Nota. Elaboración propia.

El análisis de la prueba de Tukey para la resistencia a la compresión (MPa) a los 28 días revela que las diferencias significativas entre el adoquín tradicional y las mezclas con adición de PET y caucho reciclado son destacables en muchos casos.

En particular, las mezclas con adición de caucho reciclado, especialmente en concentraciones más altas (10% y 15%), presentan una mejora en la resistencia a la compresión en comparación con el adoquín tradicional, lo que sugiere que el uso de estos materiales reciclados puede mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

Sin embargo, el adoquín tradicional muestra una resistencia a la compresión más baja en comparación con las mezclas con adición de 4% PET y 15% caucho reciclado, que presenta una diferencia significativa de 8,43 MPa, y 6% PET y 10% caucho reciclado, con un incremento de 9,15 MPa.

Estas diferencias significativas en las combinaciones con mayor concentración de caucho reciclado indican que este material reciclado tiene un impacto positivo en la resistencia a la compresión, especialmente en mayores concentraciones, lo que podría mejorar el rendimiento del concreto en aplicaciones de pavimentación.

En contraste, las combinaciones con menor concentración de PET y caucho reciclado, como 2% PET y 5% caucho reciclado, no muestran diferencias significativas con el adoquín tradicional, lo que sugiere que no se alcanza un umbral en la adición de caucho reciclado que dé lugar a mejoras notables en la resistencia. Esto implica que las concentraciones de caucho reciclado deben ser más altas para obtener un beneficio real en términos de resistencia.

A pesar de esto, las adiciones de PET no afectan negativamente la compresión, incluso cuando se combinan con mayores proporciones de caucho reciclado, lo que demuestra que estos materiales reciclados pueden integrarse sin comprometer la resistencia del concreto.

**Tabla 41.**  
**Costos unitarios molienda de PET**

<i>A. Mano de Obra Directa</i>						
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Parcial (S/.)	
MOD-01	Operador de molino	h	1	13	13	
MOD-02	Ayudante de planta	h	1	12	12	
Total mano de obra					25	
<i>B. Maquinaria y Equipo</i>						
Ítem	Maquinaria	Unidad	Cantidad	Costo Hora (S/.)	Parcial (S/.)	
ME-01	Molino triturador	h	1	40	40	
ME-02	Cinta transportadora	h	1	8	8	

ME-03	Sistema de tamizado	h	1	5	5
	Total maquinaria y equipo				53

*C. Materiales e Insumos*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Parcial (S/.)
MAT-01	Energía eléctrica (kWh)	kWh	15	0.6	9
MAT-02	Lubricante industrial	L	0.1	30	3
MAT-03	Repuestos menores	%	1	5	5
	Total maquinaria y equipo				17

Concepto	Valor
Costos Directos	95
Costos Indirectos (recolección, lavado 15%)	14.5
Costo Total Hora	109.5
Producción (kg/h)	300
Costo por kg	0.36

Nota. Elaboración propia.

El análisis de los costos unitarios para la molienda de PET revela que los costos directos totalizan S/ 95, que se desglosan en tres categorías principales: mano de obra directa, maquinaria y equipo, y materiales e insumos. La mano de obra directa incluye los costos de un operador de molino y un ayudante de planta, que suman S/ 25.

Los costos de maquinaria y equipo ascienden a S/ 53, que incluyen el uso de un molino triturador, una cinta transportadora y un sistema de tamizado. Por último, los costos de materiales e insumos, que comprenden energía eléctrica, lubricante industrial y repuestos menores, alcanzan S/ 17.

El costo total por hora de operación es de S/ 109.5, incluyendo los costos directos y los costos indirectos (15%) que suman S/ 14.5. Con una producción de 300 kg por hora, el costo por kilogramo de PET molido es de S/ 0.36.

Este costo refleja los gastos operativos de la molienda de PET y puede ser utilizado para evaluar la viabilidad económica del proceso, así como para comparar con otros métodos de reciclaje o molienda de materiales en términos de eficiencia de costos.

**Tabla 42.**

*Parámetros para adición de PET y caucho*

Parámetro	Valor
Largo adoquín (m)	0,2
Ancho adoquín (m)	0,1
Espesor adoquín (m)	0,04
Volumen adoquín (m <sup>3</sup> )	0,0008
Adoquines por m <sup>3</sup>	1250
Adoquines por m <sup>2</sup>	50
Resistencia f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	350
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	450
Arena gruesa (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0,6
Piedra chancada 1/2" (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , base)	0,7
Densidad piedra (kg/m <sup>3</sup> )	1600
Adición PET (% peso piedra)	2
Adición caucho (% peso piedra)	5
Costo PET (incluye lavado, recolección, molienda y flete) (S/ kg)	0,36
Costo caucho (incluye lavado, recolección, molienda y flete) (S/ kg)	0,31

Nota. Elaboración propia.

El análisis de los parámetros para la adición de PET y caucho en la fabricación de adoquines revela una serie de especificaciones técnicas que pueden influir en la producción y costos del proyecto. El tamaño estándar de cada adoquín es de 0,2 metros de largo, 0,1 metros de ancho y 0,04 metros de espesor, lo que resulta en un volumen por adoquín de 0,0008 m<sup>3</sup>. Con esta especificación, se obtienen 1,250 adoquines por metro cúbico y 50 adoquines por metro cuadrado, lo que proporciona una referencia clave para la planificación de la producción.

En cuanto a los materiales, se emplea un cemento de 450 kg por metro cúbico, con una mezcla que incluye 0,6 m<sup>3</sup> de arena gruesa y 0,7 m<sup>3</sup> de piedra chancada 1/2", con una densidad de 1,600 kg/m<sup>3</sup>. La resistencia del concreto es de 350 kg/cm<sup>2</sup>, lo que asegura la durabilidad y la capacidad de carga de los adoquines. Además, se añade PET en una proporción del 2% del peso de la piedra y caucho en un 5%, lo que contribuye a la sostenibilidad del proyecto al reutilizar materiales reciclados.

En términos de costos, el PET tiene un costo de S/ 0,36 por kilogramo, mientras que el caucho tiene un costo de S/ 0,31 por kilogramo. Estos costos incluyen el lavado,

recolección, molienda y flete de ambos materiales, lo que permite calcular de manera precisa el gasto asociado a la adición de estos materiales reciclados en la producción de adoquines. Estos valores son esenciales para evaluar la viabilidad económica de incorporar PET y caucho reciclado en la fabricación de adoquines, así como para comparar estos costos con las alternativas convencionales.

**Tabla 43.**

*Materiales para adición de PET y caucho*

Código	Descripción	Unidad	Consumo por m <sup>3</sup> de concreto	Consumo por adoquín	P.U. (S/)	Parcial por m <sup>3</sup> (S/)	Parcial por adoquín (S/)
M01	Cemento Portland IP	kg	450	0.36	0.776470588	349.4117647	0.279529412
M02	Arena gruesa de cantera	m <sup>3</sup>	0.6	0.00048	98	58.8	0.04704
M03	Piedra chancada 1/2"	kg	892.8	0.71424	0.06125	54.684	0.0437472
M04	Agua de mezcla	m <sup>3</sup>	0.25	0.0002	1	0.25	0.0002
M05	PET triturado	kg	17.86	0.014288	0.36	6.4296	0.00514368
M06	Caucho triturado reciclado	kg	44.64	0.035712	0.31	13.8384	0.01107072
						TOTAL	0.39

Nota. Elaboración propia.

El análisis de los materiales para la adición de PET y caucho reciclado en la fabricación de adoquines muestra un desglose detallado de los componentes utilizados en la mezcla de concreto. Para el cemento Portland IP, se requiere un consumo de 450 kg por metro cúbico de concreto, lo que equivale a un costo de S/0.2795 por adoquín. Este material tiene un costo total por metro cúbico de S/ 349.41, lo que representa una parte significativa del costo de producción. La arena gruesa de cantera se consume a razón de 0.6 m<sup>3</sup> por metro cúbico de concreto, con un costo de S/ 0.047 por adoquín. El costo total por metro cúbico de arena es de S/ 58.80.

La piedra chancada 1/2" se utiliza en una cantidad de 892.8 kg por metro cúbico, lo que genera un costo de S/ 0.0437 por adoquín. El costo total por metro cúbico de este agregado es de S/ 54.68. En cuanto al agua de mezcla, se consume 0.25 m<sup>3</sup> por metro cúbico,

con un costo de S/ 0.0002 por adoquín, lo que suma un total de S/ 0.25 por metro cúbico. Los materiales reciclados, como el PET triturado y el caucho reciclado, también juegan un papel importante en la mezcla. Se utilizan 17.86 kg de PET triturado por metro cúbico, lo que representa un costo de S/ 0.0051 por adoquín, y el costo total por metro cúbico de PET es de S/ 6.43. Por otro lado, se añaden 44.64 kg de caucho triturado reciclado por metro cúbico, lo que equivale a un costo de S/ 0.0111 por adoquín y un costo total por metro cúbico de S/ 13.84.

El costo total por metro cúbico de concreto es de S/ 0.39 por adoquín, lo que incluye los materiales convencionales (cemento, arena, piedra, y agua) y los materiales reciclados (PET y caucho). Este análisis permite evaluar la viabilidad económica de utilizar PET y caucho reciclado en la fabricación de adoquines, contribuyendo a la sostenibilidad del proceso sin comprometer significativamente los costos de producción.

**Tabla 44.**

*Mano de obra para adición de PET y caucho*

Cód.	Descripción	Unid.	Rendimiento (adoquines/jornal)	Jornal (S/)	Parcial por adoquín (S/)
MO1	Oficial de obra	Jornal	400	178,66	0,45
MO2	Peón	Jornal	400	161,75	0,40
<b>TOTAL</b>					<b>0,85</b>

Nota. Elaboración propia.

El análisis de la mano de obra para la adición de PET y caucho en la fabricación de adoquines revela los costos asociados al trabajo directo en la producción. En primer lugar, el oficial de obra tiene un rendimiento de 400 adoquines por jornal, con un jornal de S/ 178.66, lo que resulta en un costo de S/ 0.45 por adoquín.

Este es un costo relativamente bajo por unidad, lo que contribuye al mantenimiento de la eficiencia en la producción. Además, el peón, quien también tiene un rendimiento de 400 adoquines por jornal, tiene un jornal de S/ 161.75, lo que se traduce en un costo de S/ 0.40 por adoquín.

Sumando ambos costos, el total de la mano de obra por adoquín es de S/ 0.85, que incluye tanto al oficial de obra como al peón. Este valor es clave para calcular los costos laborales en la producción de adoquines con la adición de PET y caucho reciclado, permitiendo determinar la viabilidad económica del proceso y su competitividad frente a otras opciones de producción.

**Tabla 45.**

*Resumen de costos unitarios de adoquín con adición de PET y caucho*

Concepto	Valor (S/)
Subtotal de materiales por adoquín	0.39
Subtotal mano de obra por adoquín	0.85
Costos directos por adoquín	1.24
Indirectos (10% de directos)	0.12
Costo total por adoquín	1.36
Costo total por m <sup>2</sup> (50 adoquines)	68.2

Nota. Elaboración propia.

El resumen de los costos unitarios de adoquín con adición de PET y caucho muestra un desglose detallado de los costos asociados a la producción. El subtotal de materiales por

adoquín es de S/ 0.39, que incluye todos los materiales utilizados en la mezcla, como cemento, arena, piedra, PET y caucho reciclado. El subtotal de mano de obra por adoquín es de S/ 0.85, que cubre los costos de los trabajadores involucrados en el proceso de producción, como el oficial de obra y el peón.

El costo directo por adoquín es la suma de estos dos conceptos, lo que da un total de S/ 1.24 por unidad. Además, se incluyen los costos indirectos, que representan el 10% de los costos directos, es decir, S/ 0.12. Esto lleva al costo total por adoquín, que es de S/ 1.36. Finalmente, el costo total por metro cuadrado de adoquines (suponiendo 50 adoquines por metro cuadrado) es de S/ 68.20.

Estos valores permiten evaluar la viabilidad económica de utilizar PET y caucho reciclado en la fabricación de adoquines, considerando tanto los costos de materiales como de mano de obra y los costos indirectos asociados.

#### 4.7.1.2. Análisis costos unitarios de adoquín tradicional.

**Tabla 46.**

*Parámetros para adoquín tradicional*

Parámetro	Valor
Largo adoquín (m)	0,2
Ancho adoquín (m)	0,1
Espesor adoquín (m)	0,04
Volumen adoquín (m <sup>3</sup> )	0,0008
Adoquines por m <sup>3</sup>	1250
Adoquines por m <sup>2</sup>	50
Resistencia f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	350
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	450
Arena gruesa (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0,6
Piedra chancada 1/2" (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , base)	0,7

Densidad piedra (kg/m <sup>3</sup> )	1600
Adición PET (% peso piedra)	2
Adición caucho (% peso piedra)	5
Costo PET (S/ kg)	0,1
Costo caucho (S/ kg)	0,15

Nota. Elaboración propia.

El análisis de los parámetros para el adoquín tradicional revela especificaciones clave que definen su fabricación y características técnicas. El adoquín tiene unas dimensiones de 0,2 metros de largo, 0,1 metros de ancho y 0,04 metros de espesor, lo que da un volumen por adoquín de 0,0008 m<sup>3</sup>. Esto significa que se pueden obtener 1,250 adoquines por metro cúbico y 50 adoquines por metro cuadrado. La resistencia del concreto es de 350 kg/cm<sup>2</sup>, lo que asegura una alta durabilidad y capacidad de carga, adecuada para su uso en pavimentación.

En cuanto a los materiales, el concreto utilizado en la fabricación de estos adoquines incluye 450 kg de cemento por metro cúbico, con 0,6 m<sup>3</sup> de arena gruesa por metro cúbico y 0,7 m<sup>3</sup> de piedra chancada 1/2" por metro cúbico. La densidad de la piedra es de 1600 kg/m<sup>3</sup>. En términos de sostenibilidad, se incluye una adición de 2% de PET y 5% de caucho en el peso de la piedra, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental al incorporar materiales reciclados.

El costo del PET es de S/ 0.1 por kilogramo y el costo del caucho es de S/ 0.15 por kilogramo. Estos valores permiten calcular el impacto económico de incorporar estos materiales reciclados en la mezcla de concreto para la fabricación de adoquines tradicionales, lo que también puede ser útil para evaluar la viabilidad de la opción ecológica frente al adoquín convencional.

**Tabla 47.**

*Materiales para adoquín tradicional*

Cód.	Descripción	Unidad	Consumo por m <sup>3</sup> de concreto	Consumo por adoquín	P.U. (S/)	Parcial por m <sup>3</sup> (S/)	Parcial por adoquín (S/)
------	-------------	--------	--	---------------------	-----------	---------------------------------	--------------------------

M01	Cemento Portland IP	kg	450	0,360	0,776	349,412	0,280
M02	Arena gruesa de cantera	m <sup>3</sup>	0,6	0,000	98,000	58,800	0,047
M03	Piedra chancada 1/2"	kg	955,3	0,764	0,061	58,512	0,047
M04	Agua de mezcla	m <sup>3</sup>	0,25	0,000	1,000	0,250	0,000
M05	PET triturado	kg	0	0,000	0,100	0,000	0,000
M06	Caucho triturado reciclado	kg	0	0,000	0,150	0,000	0,000
<b>TOTAL</b>							<b>0,370</b>

Nota. Elaboración propia.

El análisis de los materiales para el adoquín tradicional revela los consumos y costos asociados a cada componente utilizado en la mezcla de concreto. En primer lugar, el Cemento Portland IP (M01) se consume a razón de 450 kg por metro cúbico de concreto, lo que resulta en un costo de S/ 0.280 por adoquín y un costo total por metro cúbico de S/ 349.41. La arena gruesa de cantera (M02) tiene un consumo de 0,6 m<sup>3</sup> por metro cúbico de concreto, lo que equivale a S/ 0.047 por adoquín y un costo total por metro cúbico de S/ 58.80.

En cuanto a la piedra chancada 1/2" (M03), el consumo es de 955,3 kg por metro cúbico, lo que genera un costo de S/ 0.047 por adoquín, con un costo total por metro cúbico de S/ 58.51. Para el agua de mezcla (M04), se utiliza 0,25 m<sup>3</sup> por metro cúbico de concreto, con un costo de S/ 0.000 por adoquín y un costo total de S/ 0.25 por metro cúbico. Los materiales reciclados, como el PET triturado (M05) y el caucho triturado reciclado (M06), no son utilizados en esta mezcla, lo que refleja que esta mezcla de adoquín tradicional no incorpora materiales reciclados como en el caso del adoquín con adición de PET y caucho.

El costo total por adoquín es de S/ 0.37, que incluye los costos de cemento, arena, piedra y agua. Este valor refleja el costo de producción por unidad de adoquín tradicional sin la adición de materiales reciclados.

**Tabla 48.**

*Mano de obra para adoquín tradicional*

Cód.	Descripción	Unid	Rendimiento (adoquines/jornal)	Jornal (S/)	Parcial por adoquín (S/)
MO1	Oficial de obra	Jornal	400	178,66	0,45
MO2	Peón	Jornal	400	161,75	0,40
<b>TOTAL</b>					<b>0,85</b>

Nota. Elaboración propia.

El análisis de la mano de obra para el adoquín tradicional revela los costos laborales asociados a la producción de adoquines. El oficial de obra tiene un rendimiento de 400 adoquines por jornal, con un jornal de S/ 178.66, lo que genera un costo de S/ 0.45 por adoquín. El peón, también con un rendimiento de 400 adoquines por jornal, tiene un jornal de S/ 161.75, lo que resulta en un costo de S/ 0.40 por adoquín.

Sumando ambos costos, el costo total de mano de obra por adoquín es de S/ 0.85, que incluye tanto al oficial de obra como al peón. Este costo es esencial para calcular el gasto total en la producción de adoquines tradicionales, considerando la mano de obra directa en el proceso de fabricación.

**Tabla 49.**

*Resumen de costos unitarios de adoquín tradicional*

Concepto	Valor (S/)
Subtotal de materiales por adoquín	0,37
Subtotal mano de obra por adoquín	0,85
Costos directos por adoquín	1,22
Indirectos (10% de directos)	0,12
Costo total por adoquín	1,34
Costo total por m <sup>2</sup> (50 adoquines)	67,10

Nota. Elaboración propia.

El resumen de los costos unitarios de adoquín tradicional muestra un desglose detallado de los componentes asociados a la producción. El subtotal de materiales por adoquín es de S/ 0.37, que incluye los costos de los materiales utilizados, como cemento, arena, piedra y agua. El subtotal de mano de obra por adoquín es de S/ 0.85, que cubre los costos laborales del oficial de obra y el peón.

El costo directo por adoquín es la suma de los costos de materiales y mano de obra, alcanzando S/ 1.22. A esto se le añaden los costos indirectos, que representan el 10% de los costos directos, es decir, S/ 0.12. El costo total por adoquín es de S/ 1.34. Finalmente, el costo total por metro cuadrado de adoquines, considerando 50 adoquines por metro cuadrado, es de S/ 67.10. Estos valores permiten evaluar la viabilidad económica de producir adoquines tradicionales y compararlos con otros tipos de adoquines, como los que incorporan materiales reciclados.

#### **4.7.1.3. Comparación de costos unitarios entre el adoquín con adición y el adoquín tradicional.**

Los resultados muestran que ambos tipos de adoquines presentan costos muy similares en términos de su fabricación, lo que evidencia que la incorporación de materiales reciclados no genera un incremento significativo en el costo final del producto. Por el contrario, las diferencias observadas se orientan más hacia la composición de los materiales utilizados y el impacto ambiental asociado a cada alternativa.

En primer lugar, el adoquín con adición alcanza un costo total de S/ 1,36 por unidad, mientras que el adoquín tradicional registra S/ 1,34 por unidad. Esta diferencia de solo S/ 0,02 por adoquín lo cual es un ahorro en términos económicos no hay una diferencia significativa, especialmente considerando que el primero incorpora residuos reciclados (PET y caucho). En consecuencia, en términos de costo por metro cuadrado, se obtiene S/ 68,20/m<sup>2</sup> para el adoquín con adición frente a S/ 67,10/m<sup>2</sup> para el tradicional, lo que confirma que la

inclusión de materiales reciclados no compromete la competitividad económica del producto.

Por otro lado, se observa un comportamiento diferenciado en el consumo de agregados. El adoquín tradicional requiere una mayor cantidad de piedra chancada ( $955,3 \text{ kg/m}^3$ ), mientras que el adoquín con adición reduce este consumo a  $892,8 \text{ kg/m}^3$  debido a la incorporación del PET y caucho reciclado. Este ajuste permite disminuir parcialmente la dependencia de agregados naturales, lo que representa un beneficio ambiental, aun cuando el efecto económico directo es mínimo. Además, el costo asociado a los residuos reciclados es muy bajo (solo S/ 0,007 por adoquín), lo que confirma que es posible introducir materiales sostenibles sin afectar el costo total de producción.

Finalmente, en ambos casos, la mano de obra constituye el componente más determinante, con un aporte de S/ 0,85 por unidad, equivalente a cerca del 70% del costo directo. Esto significa que cualquier estrategia de reducción de costos debería orientarse principalmente a optimizar los procesos de producción y mejorar el rendimiento del personal, más que a modificar la mezcla o adicionar materiales.

La comparación refleja que el adoquín con adición es técnica y económicamente viable, manteniendo costos prácticamente idénticos al adoquín tradicional, pero con la ventaja de contribuir a la sostenibilidad ambiental mediante la valorización de residuos plásticos y de caucho. Esto posiciona a la alternativa con adición como una opción competitiva y responsable, capaz de incorporarse en proyectos de pavimentación sin comprometer el presupuesto ni el desempeño del producto.

#### **4.7.1.4. Beneficios del uso de PET y Caucho reciclados**

##### **4.7.1.2.1. Beneficios económicos.**

- Reducción de costos de materiales: El uso de materiales reciclados reduce los costos de materiales convencionales en un 2.1%, lo que implica un ahorro en la

elaboración del mismo, (esto beneficia a los tesis en la medida en que optimizan la inversión inicial).

- Reducción de costos de disposición de residuos: Al utilizar materiales reciclados, el ahorro en la disposición de residuos alcanza los S/ 200.00 mensuales.
- Incentivos fiscales y subsidios: El uso de materiales reciclados puede generar beneficios fiscales o subsidios, con un ahorro de S/ 500.00 anuales, es decir, S/ 41.67 mensuales.

#### **4.7.1.2.2. Beneficios ambientales.**

- Reducción de residuos: El uso de PET y caucho reciclados permite una reducción significativa de residuos, lo que contribuye a la sostenibilidad. Se estima una reducción de 200 kg de residuos mensuales.
- Conservación de recursos naturales: Al adicionar materiales convencionales, el proyecto contribuye a la conservación de recursos naturales, beneficiando el medio ambiente a largo plazo.
- Reducción de la huella de carbono: La adición de materiales tradicionales por reciclados contribuye a una disminución de la huella de carbono, estimándose una reducción de 0.5 toneladas de CO<sup>2</sup> al mes.

#### **4.7.1.2.3. Beneficios sociales.**

- Generación de empleo: El proyecto crea empleo local, estimándose la contratación de 10 personas para la operación de la planta de producción. Esto genera un ingreso mensual de S/ 900.00 por trabajador.
- Mejora de la infraestructura urbana: Los adoquines reciclados contribuyen a mejorar la infraestructura urbana en Arequipa, mejorando la calidad de vida de la comunidad.

### **4.7.2. Evaluación ambiental**

La evaluación ambiental del proyecto que utiliza caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) como aditivos en la fabricación de adoquines peatonales muestra una serie de impactos positivos y negativos. Uno de los principales beneficios ambientales del proyecto es la reducción de residuos sólidos. El uso de materiales reciclados, como PET y caucho, ayuda a disminuir la cantidad de estos materiales que terminan en vertederos, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental. En Arequipa, un área que enfrenta desafíos significativos con la acumulación de residuos plásticos y neumáticos, esta iniciativa representa una opción eficaz para mitigar la acumulación de desechos y promover la economía circular.

Además, el uso de PET y caucho reciclados contribuye a la conservación de recursos naturales. La extracción de materiales vírgenes, como el cemento, la arena y la piedra, tiene un impacto ambiental significativo debido a la alteración de paisajes, la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero. Al reemplazar parcialmente estos materiales con PET y caucho reciclados, el proyecto ayuda a conservar estos recursos y reduce la huella ecológica asociada con la extracción y procesamiento de materiales naturales.

Un beneficio adicional es la reducción de la huella de carbono. El proceso de reciclaje generalmente requiere menos energía que la producción de materiales nuevos, lo que se traduce en menores emisiones de CO<sup>2</sup>. En el caso de este proyecto, se estima que se reducirán aproximadamente 0.5 toneladas de CO<sup>2</sup> al mes, lo que representa una importante contribución a la lucha contra el cambio climático, especialmente si se considera que la producción tradicional de materiales de construcción suele ser muy intensiva en carbono.

No obstante, también se deben considerar algunos impactos negativos. Aunque el proceso de reciclaje de PET y caucho tiene beneficios, el consumo de energía en el proceso de triturado (chancado) de estos materiales puede aumentar la huella energética del proyecto.

El uso de maquinaria pesada y el procesamiento de estos materiales requieren electricidad, lo que puede generar emisiones de CO<sup>2</sup> si la fuente de energía es no renovable. Este impacto, aunque relativamente bajo, debe ser mitigado utilizando fuentes de energía más sostenibles, como la energía solar, para minimizar la huella de carbono del proyecto.

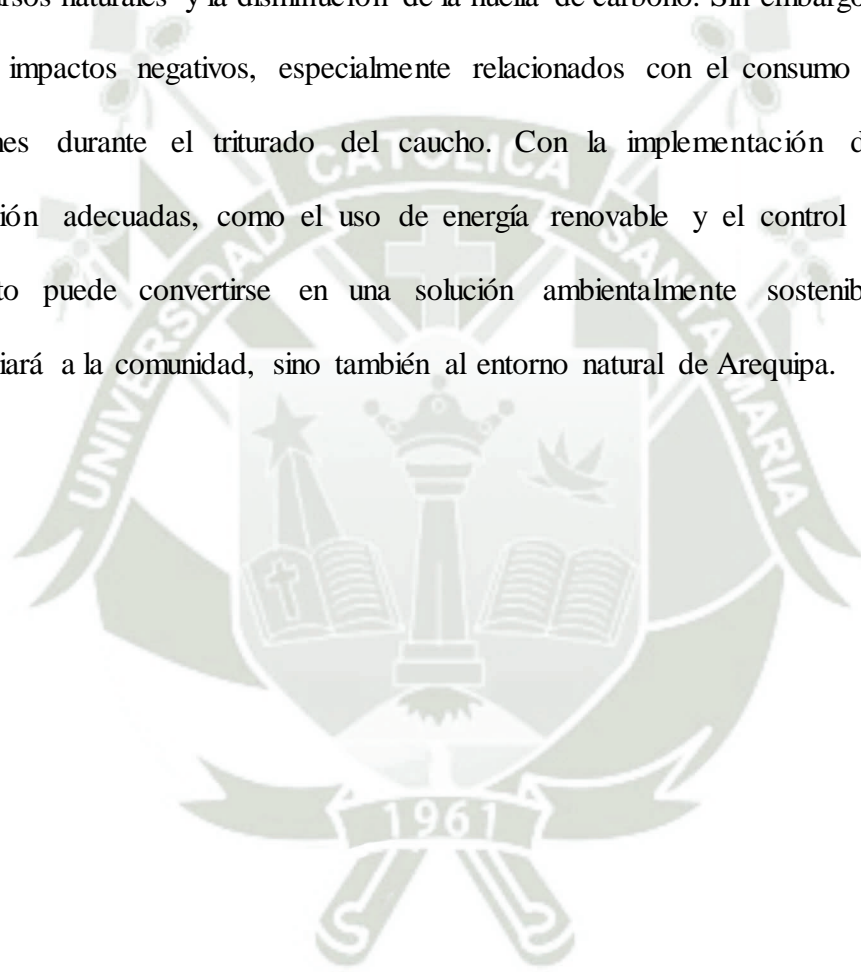
Otro posible impacto negativo es la emisión de contaminantes durante el triturado del caucho. El caucho, al ser procesado, puede liberar polvo y partículas finas que, si no se controlan adecuadamente, pueden afectar la calidad del aire y la salud de los trabajadores. Asimismo, algunos compuestos químicos presentes en el caucho pueden liberarse durante su trituración, lo que podría tener implicaciones para la salud de los operarios y el medio ambiente. Para mitigar este riesgo, se recomienda la instalación de sistemas de ventilación y filtración en las instalaciones de producción, lo que reduciría las emisiones de partículas y mejoraría la calidad del aire en la zona de trabajo.

Por último, el proyecto también podría generar residuos no reciclables durante el proceso de producción, especialmente en la fase de triturado. Aunque el objetivo es maximizar el uso de materiales reciclados, es probable que se generen residuos que no se puedan reutilizar en la fabricación de adoquines. Estos residuos deben ser gestionados adecuadamente para evitar su acumulación en vertederos, lo que podría afectar negativamente el entorno. Es fundamental desarrollar un sistema de gestión de residuos eficiente que permita reducir al mínimo los desechos no reciclables.

Para mitigar los impactos negativos y maximizar los beneficios ambientales, se recomienda implementar varias estrategias. En primer lugar, se sugiere el uso de energía renovable, como paneles solares, para alimentar la maquinaria utilizada en el proceso de triturado. Esto reduciría significativamente la huella de carbono del proyecto. Además, se debe instalar un sistema de filtración y ventilación en las instalaciones de producción para controlar las emisiones de polvo y partículas, protegiendo así la salud de los trabajadores y

mejorando la calidad del aire. También es esencial mejorar la gestión de residuos, buscando formas alternativas de reutilización o reciclaje de los desechos generados, como su uso en otros proyectos de construcción menos exigentes.

En resumen, el proyecto de fabricación de adoquines con PET y caucho reciclados presenta importantes beneficios ambientales, como la reducción de residuos, la conservación de recursos naturales y la disminución de la huella de carbono. Sin embargo, también genera ciertos impactos negativos, especialmente relacionados con el consumo de energía y las emisiones durante el triturado del caucho. Con la implementación de estrategias de mitigación adecuadas, como el uso de energía renovable y el control de emisiones, el proyecto puede convertirse en una solución ambientalmente sostenible que no solo beneficiará a la comunidad, sino también al entorno natural de Arequipa.





## CAPÍTULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

**Primera:** Se logró determinar las propiedades físico-mecánicas de adoquines peatonales fabricados con adición de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET), evidenciándose variaciones significativas en la resistencia a la compresión en función de los porcentajes de estos materiales reciclados. Los resultados muestran que ciertas combinaciones de caucho y PET presentan un desempeño mecánico comparable e incluso superior al adoquín convencional, lo que avala su viabilidad para su aplicación en pavimentos peatonales. Asimismo, el análisis económico indicó una rentabilidad de hasta un 15.5% respecto a los adoquines tradicionales, lo que posiciona esta alternativa como una opción económicamente atractiva para proyectos de infraestructura urbana con recursos limitados.

**Segunda:** La resistencia a la compresión variaron conforme a la proporción de caucho y PET incorporados. Mediante análisis estadístico ANOVA y prueba de Tukey, se identificó que mezclas con mayor contenido de caucho tienden a reducir la resistencia mecánica en comparación con el adoquín patrón. Sin embargo, formulaciones con porcentajes moderados de PET y caucho mostraron valores aceptables y, en algunos casos, superiores a los estándares tradicionales. Específicamente, adoquines con hasta 6% de PET y 15% de caucho reciclado presentaron una reducción promedio del 10% en resistencia, mientras que otras combinaciones equilibradas alcanzaron incrementos de hasta 15% en resistencia a la compresión, demostrando que la incorporación de estos aditivos influye directamente en la capacidad estructural del producto final.

**Tercera:** Las propiedades físico-mecánicas demostraron que la variación en los porcentajes de caucho reciclado y PET afecta directamente el desempeño de los adoquines. Mientras algunas formulaciones cumplen con los estándares estructurales y de durabilidad,

otras presentan disminuciones en resistencia que pueden comprometer su uso prolongado. Por lo tanto, la selección cuidadosa y balanceada de la proporción de aditivos reciclados es esencial para garantizar un producto final que combine resistencia, durabilidad y desempeño óptimo en condiciones reales.

## 5.2. Recomendaciones

**Primera:** Se recomienda realizar estudios adicionales para determinar las proporciones óptimas de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) en la fabricación de adoquines peatonales. Es esencial ajustar las cantidades de estos materiales para obtener un equilibrio adecuado de la resistencia mecánica, ya que las combinaciones con altos porcentajes de caucho reciclado afectaron negativamente la durabilidad. La optimización de estas proporciones permitirá maximizar las propiedades físicas de los adoquines, garantizando que los beneficios ecológicos y económicos no comprometan la calidad estructural. De esta manera, se podrá garantizar la viabilidad de los adoquines en diferentes contextos urbanos.

**Segunda:** Dado que la resistencia a la compresión puede verse afectadas por la cantidad de caucho y PET utilizados, se recomienda realizar pruebas adicionales con diferentes tratamientos de estos materiales, se sugiere llevar a cabo un monitoreo continuo a largo plazo. Este seguimiento debe incluir pruebas de resistencia y durabilidad bajo condiciones climáticas extremas y de tráfico peatonal, para obtener datos más precisos sobre su desempeño en condiciones reales. La evaluación a largo plazo permitirá identificar posibles problemas de degradación y desgaste, lo que será fundamental para optimizar el diseño y garantizar que los adoquines mantengan su funcionalidad durante todo su ciclo de vida útil.

**Tercera:** Dado que la incorporación de caucho reciclado y PET influye en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines, se recomienda realizar estudios

complementarios sobre su comportamiento frente a cargas dinámicas y abrasión, con el objetivo de validar su resistencia en aplicaciones de tránsito peatonal y ligero. Para facilitar la implementación a gran escala de adoquines fabricados con materiales reciclados, se recomienda fomentar la colaboración entre el sector público, las autoridades locales y las empresas privadas. Esta cooperación puede incluir incentivos fiscales para las empresas que adopten prácticas sostenibles, así como la creación de normativas locales que promuevan el uso de materiales reciclados en proyectos de infraestructura urbana. Además, la formación de asociaciones público-privadas podría facilitar el acceso a tecnologías de producción más avanzadas y la capacitación de los profesionales involucrados en el diseño y construcción de los adoquines.

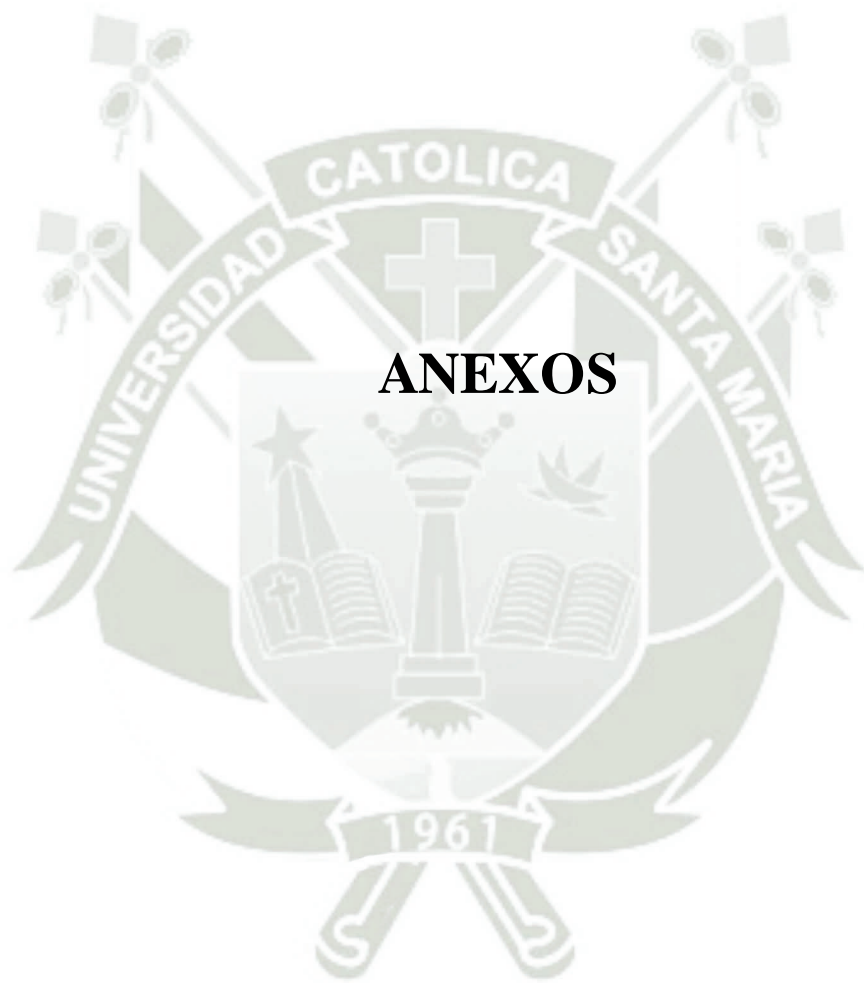
**Cuarta:** Dado que el uso de materiales reciclados en la construcción aún puede generar incertidumbre en algunos sectores, se recomienda llevar a cabo campañas de sensibilización dirigidas tanto a la comunidad como a los profesionales de la construcción. Estas campañas deben resaltar los beneficios ecológicos, económicos y sociales del uso de caucho reciclado y PET en la fabricación de adoquines. Además, es fundamental demostrar con datos concretos cómo estas prácticas contribuyen a la economía circular, reducen la huella de carbono y favorecen la sostenibilidad de las ciudades, lo que podría generar un cambio de paradigma en la percepción de los materiales reciclados en la industria de la construcción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrada, H., & Delgado, H. (2023). *Evaluación de las propiedades mecánicas de adoquines rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado* [Tesis de Maestría. Universidad del Cauca]. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/handle/123456789/8003>
- Aguinaga, D. L., Gomez, J. D. F., Benites-Alfaro, E., Suasnabar, E. A., Aguinaga, M. G. L., & Cumpa, R. O. (2023). Recycling of Rubber and Polyethylene Terephthalate (PET) to Produce Ecological Bricks in Peru. *Chemical Engineering Transactions*, 101, 199–204. <https://doi.org/10.3303/CET23101034>
- Arias, J. (2020). *Proyecto de tesis: Guía para la elaboración* (Perú). Biblioteca Nacional del Perú.
- Ayala, M., & Machuca, J. (2022). *Evaluación del tereftalato de polietileno y caucho reciclado para mejorar las propiedades del adoquín peatonal, Miraflores-2022* [Tesis de Pregrado. Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96584>
- Baciu, A. M., Kiss, I., Desnica, E., & Sárosi, J. (2022). Reinforcing concrete with recycled plastic wastes. *Journal of Physics: Conference Series*, 2212(1), 12031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2212/1/012031>
- Balboa, M., & Mateo, D. (2021). *Propuesta diseño de concreto con sustitución parcial de los agregados por PET y caucho reciclados para mejorar sus propiedades mecánicas, en veredas de Lima Perú* [Tesis de Pregrado. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/656332>
- Bernedo, H., & Nina, A. B. (2020). *Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en las propiedades mecánicas del adoquín para pavimento de tránsito vehicular ligero, Yarabamba, Arequipa, 2020* [Tesis de Pregrado. Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60816>
- Congreso de la República. (2018). *Ley No. 27181: Ley General de Transporte y tránsito terrestre* (Vol. 5). <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/9868-27181>
- Córdova, B. (2022). *Evaluación de resistencia a la compresión de adoquines elaborados*

- con perlas de poliestireno en el distrito de Amarilis–Huanuco–2022* [Tesis de Pregrado. Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99377>
- Dávila, J. (2023). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas del adoquín peatonal, adicionando caucho y PET reciclado Los Olivos, 2023* [Tesis de Ppregrado. Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/133153>
- Dionicio, S. (2022). *Análisis del comportamiento mecánico del concreto  $f'c=175\text{kg/cm}^2$  para veredas sustituyendo el agregado fino parcialmente por caucho reciclado, Lima–2022* [Tesis de Pregrado. Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/116511>
- Farfán, M., & Leonardo, E. (2018). Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 241–250. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000300241>
- Flores, K. (2021). *El uso del caucho reciclado y su influencia en la caracterización físico–mecánico del concreto para la elaboración de adoquines* [Tesis de Pregrado. Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25030>
- Galifanov, G. (2023). *Un inventor turcomano encuentra nuevas formas económicas de reciclar los desechos de caucho y plástico*. Revista de La OMPI. [https://www.wipo.int/wipo\\_magazine/es/2021/04/article\\_0006.html](https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2021/04/article_0006.html)
- Hurtado, L. (2018). *Estudio de las propiedades físico–mecánicas de adoquines elaborados con vidrio reciclado para pavimentos de transito ligero, Lima-2018* [Tesis de Pregrado. Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36438>
- Iftikhar, B., Alih, S. C., Vafaei, M., Ali, M., Javed, M. F., Asif, U., Ismail, M., Umer, M., Gamil, Y., & Amran, M. (2023). Experimental study on the eco-friendly plastic-sand paver blocks by utilising plastic waste and basalt fibers. *Heliyon*, 9(6), e17107. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17107>
- INTE. (2019). *INTE CTN 06*.
- Jaimes, M. (2021). *Influencia de fibras de Coco y Gilma en comportamiento mecánico en adoquines de concreto para tránsito peatonal, Kimbiri, Cusco-2021* [Tesis de Pregrado.

- Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66420>
- Miller, I., & Freund, J. (2021). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Reverté.
- MTC. (2008). *Decreto Supremo N° 034-2008-MTC. Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial*.
- NTP. (1999). *NTP 339.130*.
- NTP. (2017). *NTP 399.611: Adoquines de concreto para pavimentos*.
- Núñez, J. (2023). *Uso de caucho reciclado para la obtención de planchas hidro-termoacústicas en la ciudad de Arequipa, provincia de Arequipa 2022* [Tesis de Pregrado. Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13968>
- Patino, T. (2022). *Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado*. Tesis de Pregrado. Universidad Católica de Cuenca.
- RNE. (2018). *Norma CE.030: Normas Técnicas de Edificación*.
- Sambucci, M., & Valente, M. (2021). Ground waste tire rubber as a total replacement of natural aggregates in concrete mixes: Application for lightweight paving blocks. *Materials*, 14(24), 7493. <https://doi.org/10.3390/ma14247493>
- Sierra, J., Reyes, L., & Becerra, J. (2020). *Aplicación de caucho reciclado para uso en pavimento rígido: revisión, análisis y perspectivas de investigación* [Tesis de Especialización. Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30434>
- Torres, K., & Jaimes, L. (2019). Aprovechamiento del grano de caucho reciclado para la elaboración de adoquines ecológicos como una nueva alternativa a la industria constructiva. *Revista Politécnica*, 15(29), 33–44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=607866916003>
- UNE-EN. (2004). *UNE-EN 1338:2004: Adoquines de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0031017>
- Varela, M. (2023). *Residuos: tipos de plásticos*. Hablando En Vidrio. <https://hablandoenvidrio.com/tipos-de-plasticos/>



**Anexo 1. Matriz de consistencia**

<b>Problema general:</b>	<b>Objetivo general:</b>	<b>Hipótesis general:</b>	<b>Variable</b>	<b>Metodología</b>
¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas de un adoquín peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET)?	Determinar las propiedades físico-mecánicas de un adoquín peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).	Los adoquines peatonales fabricados con caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET) presentan propiedades físico-mecánicas comparables o superiores a las de los adoquines tradicionales.	Propiedades físico-mecánicas de adoquines	Tipo:
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>		
<p><b>PE1:</b> ¿Cuál es la resistencia a la resistencia a la compresión de los adoquines peatonales utilizando como base caucho reciclado y PET?</p> <p><b>PE2:</b> ¿Cuáles son las características de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET)?</p>	<p><b>OE1:</b> Determinar la resistencia a la resistencia a la compresión de adoquines peatonales utilizando como base caucho reciclado y PET.</p> <p><b>OE2:</b> Describir las características de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines peatonal utilizando como base caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET).</p>	<p><b>HE1:</b> Los adoquines peatonales fabricados con caucho reciclado y PET tienen una resistencia a la compresión superior a la de los adoquines tradicionales.</p>	Caucho reciclado y PET en adoquines	Diseño: experimental de tipo cuasi experimental.


**Anexo 2. Operacionalización de variables**

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Instrumentos
<b>Propiedades físico-mecánicas de adoquines</b>	Características físicas y mecánicas que determinan el comportamiento y la resistencia a la compresión de los adoquines fabricados con caucho reciclado y PET.	1. Resistencia a la compresión.	1. Carga máxima soportada antes de la rotura por compresión.	1. Escala de razón (MPa).	1. Máquina de ensayo de compresión.
<b>Caucho reciclado y PET en adoquines</b>	Materiales adicionales utilizados en la fabricación de adoquines, donde el caucho reciclado y el tereftalato de polietileno (PET) son incorporados en la mezcla del material.	1. Proporción de caucho reciclado.	1. Porcentaje de caucho reciclado en la mezcla.	Escala de razón (porcentaje)	Formulación de la mezcla
		2. Proporción de PET.	2. Porcentaje de PET en la mezcla.		

**Anexo 3. Base de datos para Resistencia a la compresión.**

ADOQUÍN			
PORCENTAJES (PET + CAUCHO RECICLADO)	MPa 7 días	Mpa 14 días	Mpa 21 días
0	21,30	38,73	39,35
0	20,42	37,12	40,15
0	20,81	37,83	42,12
2% 5%	21,20	38,55	40,96
2% 5%	21,46	39,03	40,96
2% 5%	21,30	38,73	42,28
2% 10%	20,27	36,86	36,40
2% 10%	19,75	35,90	35,83
2% 10%	20,00	36,36	36,40
2% 15%	16,94	30,80	35,83
2% 15%	17,12	31,13	34,11
2% 15%	17,87	32,49	36,07
4% 5%	20,73	37,70	33,12
4% 5%	23,24	42,26	34,11
4% 5%	19,45	35,36	34,32
4% 10%	18,87	34,31	34,99
4% 10%	19,40	35,28	32,03
4% 10%	18,56	33,74	32,78
4% 15%	11,27	20,50	31,84
4% 15%	10,75	19,54	32,86
4% 15%	9,01	16,38	31,64
6% 5%	20,63	37,51	34,99
6% 5%	19,82	36,04	34,63
6% 5%	21,40	38,91	34,33
6% 10%	10,92	19,86	33,19
6% 10%	11,57	21,04	31,44
6% 10%	12,98	23,60	29,55
6% 15%	8,55	15,55	30,74
6% 15%	9,32	16,94	31,06
6% 15%	12,02	21,85	30,52


## Anexo 4. Ficha técnica de agregado: Piedra 3/4"



FICHA TÉCNICA AGREGADOS: PIEDRA 3/4 (HUSO 67)

### PIEDRA 3/4 (HUSO 67) (AGREGADOS EMBOLSADOS)

Los materiales granulares, el cual puede ser arenas, piedras natural zarandeada o chancada. Adicional a ello, se emplea con un medio cementante para formar concreto o morteros. Dependiendo del diámetro medio de sus partículas se clasifican en agregados finos y gruesos.



### APLICACIÓN Y USOS

El agregado de alta calidad de HDS es utilizado para la elaboración de todo tipo de productos prefabricados y pre moldeados de hormigón, sometidos a estrictos controles de calidad, así mismo son utilizados en la elaboración de concreto premezclado de alta calidad.

### VENTAJAS

En las plantas de explotación de agregados de HDS se realizan procesos con los más altos estándares de calidad y control de calidad, manteniendo de esta manera una calidad permanente en toda la gama de agregados que son utilizados en la fabricación de productos de concreto y concretos premezclados.

### CARACTERÍSTICAS

Los agregados de HDS son limpios y están exentos de exceso de arcillas, limo, mica, materia orgánica, sales químicas. Se ofrecen agregados con diversas granulometrías estandarizadas, según ASTM C33. Tanto para Arenas y Piedras según su Husos granulométricos.(Huso 67, Huso 7)


### CONTROL DE CALIDAD

Los agregados de HDS son limpios y están exentos de exceso de arcillas, limo, mica, materia orgánica, sales químicas. Se ofrecen agregados con diversas granulometrías estandarizadas, según ASTM C33. Tanto para Arenas y Piedras según su Husos granulométricos.(Huso 67, Huso 7)

#### INFORMACIÓN TÉCNICA

TAMIZ	DIMENSIÓN	% QUE PASA
1"	25 mm	100
3/4"	19 mm	95 - 100
1/2"	12.5 mm	-
3/8"	9.5 mm	20 -55
1/4"	6.35 um	-
N° 4	4.75 mm	0 -10
N° 8	2.36 mm	0 - 5

Descarga las ficha técnica escaneando este código QR



991 545 411

ventas@hormigonerasdelsur.com

Calle Contralmirante Villar 342  
Miraflores - Lima - Perú

f in /HormigonerasDelSur

## Anexo 5. Ficha técnica de agregado: Arena gruesa



FICHA TÉCNICA AGREGADOS: ARENA GRUESA

### ARENA GRUESA (AGREGADOS EMBOLSADOS)

Los materiales granulares, el cual puede ser arenas, piedras natural zarandeada o chancada. Adicional a ello, se emplea con un medio cementante para formar concreto o morteros. Dependiendo del diámetro medio de sus partículas se clasifican en agregados finos y gruesos.



### APLICACIÓN Y USOS

El agregado de alta calidad de HDS es utilizado para la elaboración de todo tipo de productos prefabricados y pre moldeados de hormigón, sometidos a estrictos controles de calidad, así mismo son utilizados en la elaboración de concreto premezclado de alta calidad.

### VENTAJAS

En las plantas de explotación de agregados de HDS se realizan procesos con los más altos estándares de calidad y control de calidad, manteniendo de esta manera una calidad permanente en toda la gama de agregados que son utilizados en la fabricación de productos de concreto y concretos premezclados.

### CARACTERÍSTICAS

Los agregados de HDS son limpios y están exentos de exceso de arcillas, limo, mica, materia orgánica, sales químicas. Se ofrecen agregados con diversas granulometrías estandarizadas, según ASTM C33. Tanto para Arenas y Piedras según su Husos granulométricos.(Huso 67, Huso 7)


### CONTROL DE CALIDAD

Los agregados de HDS son limpios y están exentos de exceso de arcillas, limo, mica, materia orgánica, sales químicas. Se ofrecen agregados con diversas granulometrías estandarizadas, según ASTM C33. Tanto para Arenas y Piedras según su Husos granulométricos.(Huso 67, Huso 7)


#### INFORMACIÓN TÉCNICA

TAMIZ	DIMENSIÓN	% QUE PASA
3/8"	9.5 mm	100
N° 4	4.75 mm	95 - 100
N° 8	2.36 mm	80 - 100
N° 16	1.18 mm	50 - 85
N° 30	600 um	25 - 60
N° 50	300 um	05 - 30
N° 100	150 um	0 - 10

Descarga la ficha técnica  
escaneando este código QR




991 545 411


ventas@hormigonerasdelsur.com



Calle Contralmirante Villar 342  
Miraflores - Lima - Perú



/HormigonerasDelSur

## Anexo 6. Certificado de granulometría y características de los agregados



Lima, 15 de Agosto del 2025

### CERTIFICADO DE ENSAYOS DE GRANULOMETRIA Y CARACTERISTICAS DE LOS AGREGAGOS

**Detalle del producto:** Agregado Fino, Arena Gruesa

**Empresa:** HORMIGONERAS DEL SUR E.I.R.L.

**Cantera** MTC KM 19 – VARIAT. UCHUMAYO

**Procedencia** Arequipa

**Muestra** Agregado Fino

<b>Fecha de muestreo</b>	05/07/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	09/07/2025
<b>Técnico</b>	N. Argumedo

AGREGADO FINO - ARENA GRUESA								CARACTERIZACIÓN FÍSICA	
Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	ASTM "LIMSUP"	ASTM "LIMINF"			
4"	101.60 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	P. Especif. de Masa Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2.75	
3 1/2"	88.90 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	P. Especif. de Masa SSS (gr/cm <sup>3</sup> )	2.77	
3"	76.20 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	P. Especif. de Masa Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2.80	
2 1/2"	63.50 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	P. Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1750	
2"	50.80 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	P. Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1680	
1 1/2"	38.10 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	Humedad de absorción (%)	0.98	
1"	25.40 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	Tamaño Máximo	NA	
3/4"	19.05 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	Tamaño Máximo Nominal	NA	
1/2"	12.70 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	Módulo de Fineza	3.11	
3/8"	9.53 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	% < Malla Nº 200 (0.75 µm)	4.50	
# 4	4.75 mm	37.60	3.24	3.24	96.76	95.00			
# 8	2.36 mm	171.30	14.76	18.01	81.99	80.00			
# 16	1.18 mm	278.70	24.02	42.03	57.97	50.00			
# 30	0.59 mm	297.30	25.62	67.65	32.35	25.00			
# 50	0.30 mm	203.90	17.57	85.23	14.77	5.00			
# 100	0.15 mm	109.50	9.44	94.66	5.34	0.00			
# 200	0.07 mm	0.00	0.00	94.66	5.34	0.00			
Fondo	0.01 mm	61.90	5.34	100.00	0.00	0.00			

OFICINA PRINCIPAL  
Jr. Juan Castilla #732  
San Juan de Miraflores - Lima

TELÉFONOS  
OF.: 5116359455  
CEL.: 992733975

E-MAILS  
ralarcon@citamac.com  
laboratorio@citamac.com

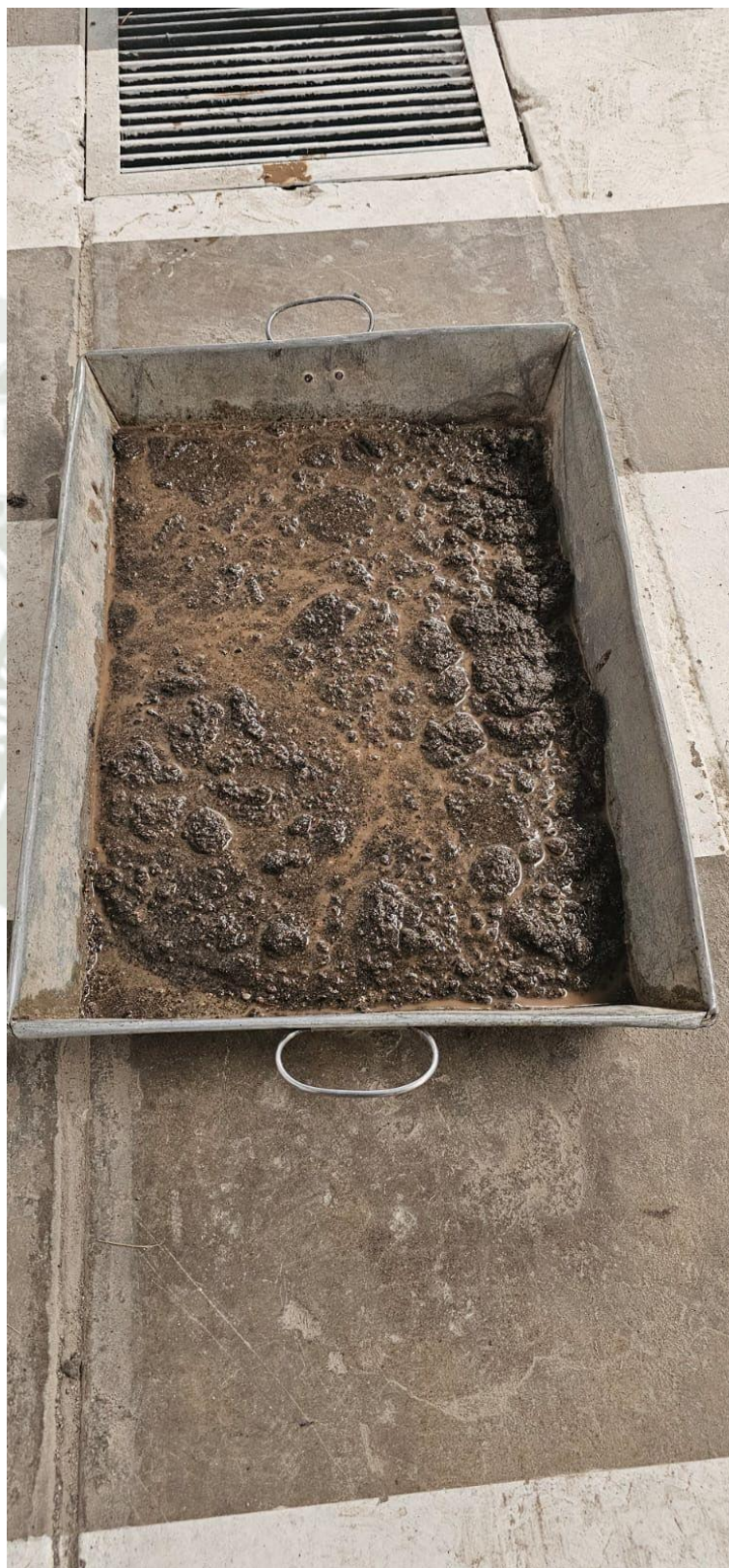


## Anexo 7. Evidencias fotográficas

**Fotografía No. 1. Pesado de áridos gruesos para la elaboración de adoquines con adición de caucho reciclado y PET**



**Fotografía No. 2. Mezclado de materiales con adición de caucho reciclado y PET para la elaboración de adoquines**



**Fotografía No. 3. Preparación y pesado de áridos y adiciones recicladas para diseño de mezcla**



**Fotografía No. 4. Pesado de árido grueso para diseño de mezcla con adición de materiales reciclados**



**Fotografía No. 5. Medición de masa de muestra líquida con partículas finas en balanza electrónica**



**Fotografía No. 6. Ensayo de asentamiento con mezcla de concreto modificada con caucho reciclado y PET**



**Fotografía No. 7. Control de temperatura en mezcla fresca de concreto con adición de caucho reciclado y PET**



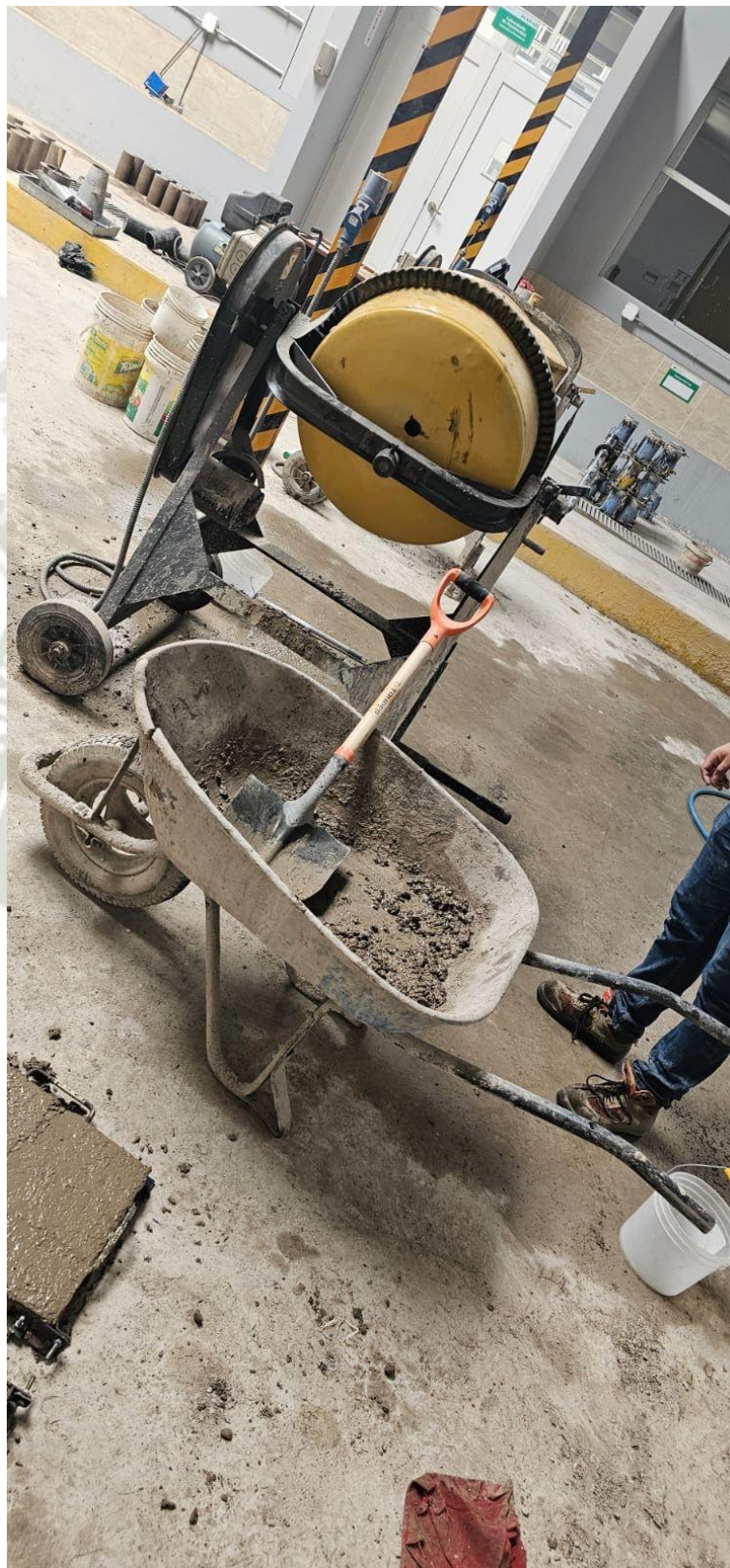
**Fotografía No. 8. Verificación de temperatura en mezcla de concreto en estado plástico 1**



**Fotografía No. 9. Verificación de temperatura en mezcla de concreto en estado plástico 2**



**Fotografía No. 10. Traslado de mezcla de concreto con adiciones recicladas para el vaciado en moldes**



**Fotografía No. 11. Pesado de muestra de concreto fresco en recipiente metálico**



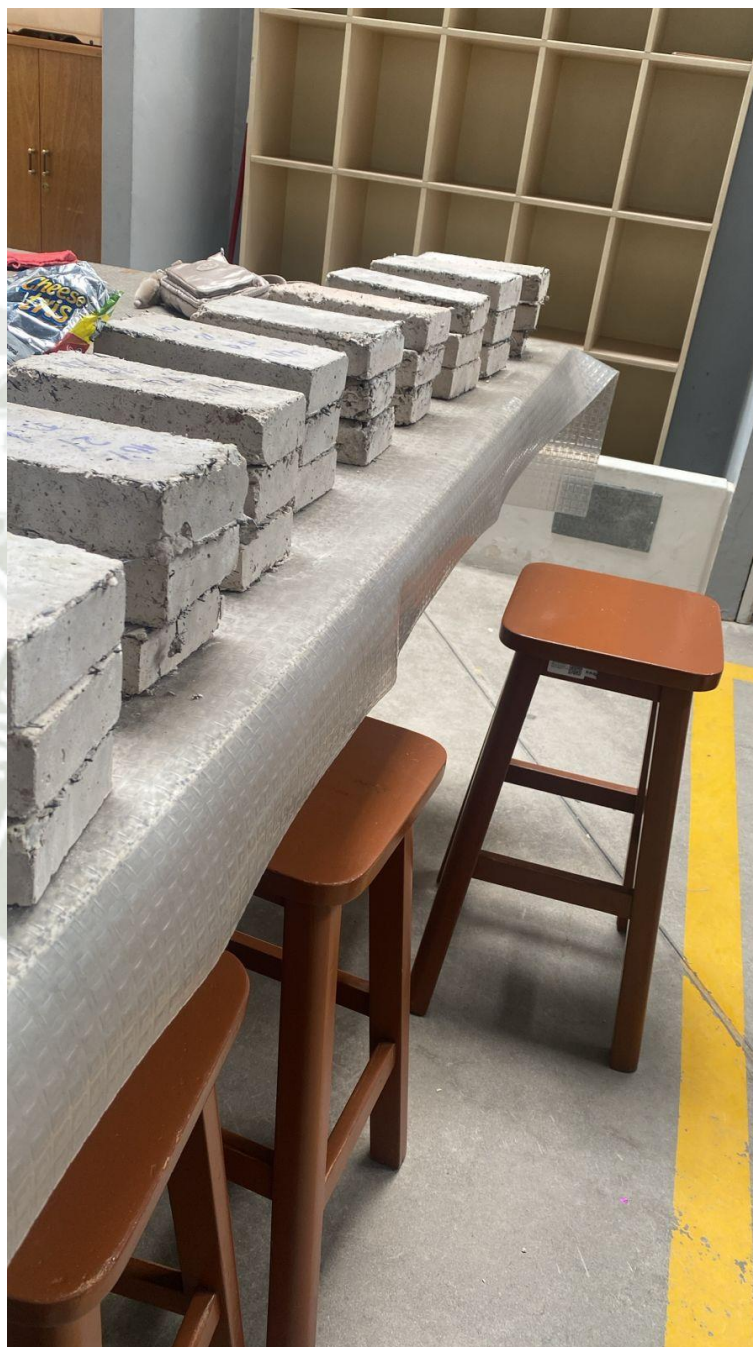
**Fotografía No. 12. Vaciado de mezcla de concreto reciclado en moldes para adoquines  
peatonales**



**Fotografía No. 13. Adoquines peatonales fraguados con adiciones de caucho reciclado y PET**



**Fotografía No. 14. Adoquines peatonales elaborados con adición de caucho reciclado y PET  
tras el proceso de curado**



**Fotografía No. 15. Llenado del molde troncocónico en el ensayo de asentamiento del concreto**



**Fotografía No. 16. Pesado de cemento Portland tipo I para mezcla de concreto reciclado**



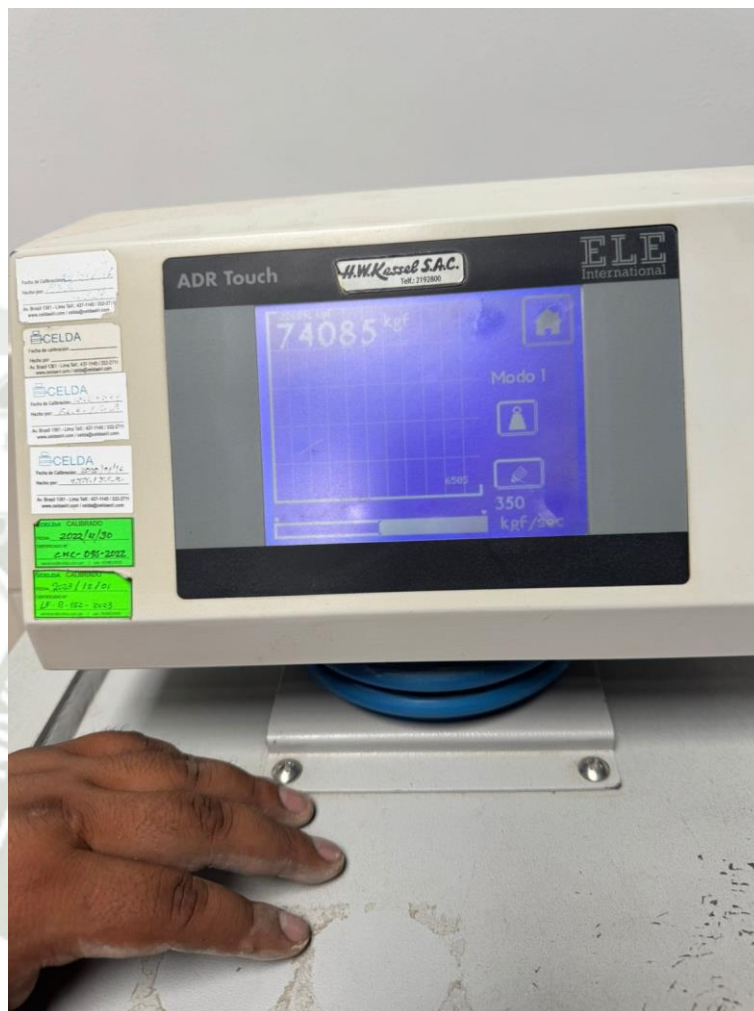
**Fotografía No. 17. Medición de asentamiento del concreto con adiciones recicladas mediante ensayo de revenimiento**



**Fotografía No. 18. Moldes metálicos con adoquines peatonales recién vaciados**



**Fotografía No. 19. Lectura de carga máxima en ensayo de compresión de adoquines  
reciclados**



**Fotografía No. 20. Ensayo de compresión axial en adoquín peatonal reciclado**



**Fotografía No. 21. Adoquines peatonales con adiciones recicladas dispuestos para los ensayos**



Anexo 8. Tabla de requisitos granulométricos del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO MONOMIAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 ½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 ½ a 1 ½ in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 ½ a 1 ½ in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 ½ a ¾ in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a ½ in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a ¾ in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (¾ a ¾ in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (¾ in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (½ in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (¾ in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (¾ in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5