



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE BLOQUES
DE ARCILLA TRADICIONALES Y BLOQUES DE ARCILLA CON
INCLUSIÓN DE PLÁSTICO PET RECICLADO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

**ACERO FRANCO LUIS ALEXANDER
DE LA O PARRALES DAVID DAKER**

TUTOR:

ING. DENNIS RODRIGUEZ, MS.c

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA

TEMA:

“ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE BLOQUES DE ARCILLA TRADICIONALES Y BLOQUES DE ARCILLA CON INCLUSIÓN DE PLÁSTICO PET RECICLADO”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

ACERO FRANCO LUIS ALEXANDER

DE LA O PARRALES DAVID DAKER

TUTOR:

ING. DENNIS RODRIGUEZ, MS.c

LA LIBERTAD – ECUADOR

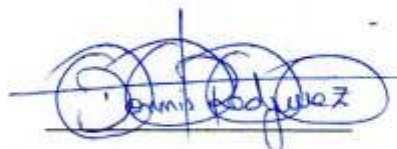
2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**ING. LUCRECIA MORENO
ALCIVAR Ph. D.**

DIRECTOR DE CARRERA



ING. DENNIS RODRIGUEZ MSc.

DOCENTE TUTOR



ING. JONNY VILLAO BORBOR MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA



ING. RICHARD RAMIREZ PALMA

Mg.

DOCENTE DE UNIDAD DE
INTEGRACION CURRICULAR

Dedico el presente trabajo a mis padres Rosendo De La O y Shirley Parrales, retribuyendo todo el sacrificio y el apoyo brindado en toda vida, también a mis hermanos Bryan y Keyla quienes depositaron su confianza y sabiduría en mí, del mismo modo a mis demás amistades que siguieron de cerca todas las vivencias que me llevaron a terminar mi carrera universitaria

David D.

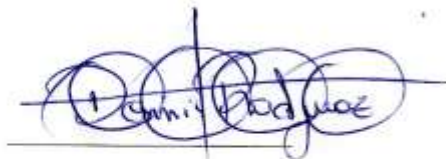
La presente tesis se la dedico principalmente a **DIOS**, forjador de mi camino, a mis padres **LUIS ACERO** y **JUDITH FRANCO**, por siempre estar y por la confianza que me depositaron, a mi esposa, **JAIRY SUAREZ**, porque su ayuda fue esencial en este camino, a mis hijos **NAHIM**, **NICK** porque fueron mi inspiración y mis ganas de seguir, para concluir, a mis hermanas que me motivaron desde el inicio para poder culminar esta etapa de mi vida.

Luis A.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema "ANALISIS COMPARATIVO TECNICO Y ECONOMICO DE BLOQUES DE ARCILLA TRADICIONALES Y BLOQUES DE ARCILA CON INCLUSION DE PLASTICO PET RECICLADO" elaborado por los estudiantes LUIS ALEXANDER ACERO FRANCO y DAVID DAKER DE LA O PARRALES, egresados de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio URKUND, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 7 % de la valoración permitida.



Dennis Rodríguez Suárez



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS ACERO FRANCO Y DE LA O PARRALES

7%
Textos sospechosos

< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos
5% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: TESIS ACERO FRANCO Y DE LA O PARRALES.docx
ID del documento: 8ceee6fad0205370c758e73644a3f57376fca48b
Tamaño del documento original: 895,4 kB

Depositante: DENNIS ENRIQUE RODRIGUEZ SUAREZ
Fecha de depósito: 12/6/2025
Tipo de carga: Interfaz
Fecha de fin de análisis: 12/6/2025

Número de palabras: 13.287
Número de caracteres: 87.185

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuente principal detectada

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	plasticseurope.org https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/Economia_Circular_Plastic... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #1116102 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
2	Documento de otro usuario #4481927 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (15 palabras)
3	vidaecologica.info Materiales Recicados en la Construcción: Opciones y Ventajas https://vidaecologica.info/materiales-recicados-en-la-construccion-opciones-y-ventajas/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
4	Documento de otro usuario #761038 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
5	hdl.handle.net Desarrollo y validación comercial de prendas tubulares multifun... https://hdl.handle.net/11323/13610	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@redes.ec.ian.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado "**ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE BLOQUES DE ARCILLA TRADICIONALES Y BLOQUES DE ARCILA CON INCLUSIÓN DE PLÁSTICO PET RECICLADO**", de los estudiantes: **ACERO FRANCO LUIS ALEXANDER** y **DE LA O PARRALES DAVID DAKER**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estimen conveniente.

Santa Elena, 10 de Junio del 2025



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
C.I. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
Nº DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, ACERO FRANCO LUIS ALEXANDER y DE LA O PARRALES DAVID DAKER, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “ANALISIS COMPARATIVO TECNICO Y ECONOMICO DE BLOQUES DE ARCILLA TRADICIONALES Y BLOQUES DE ARCILA CON INCLUSION DE PLASTICO PET RECICLADO”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



LUIS ACERO FRANCO

Autor de Tesis

C.I. 0942089666



DAVID DE LA O PARRALES

Autor de Tesis

C.I. 0928025006

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Dennis Rodríguez Suárez MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE BLOQUES DE ARCILLA TRADICIONALES Y BLOQUES DE ARCILLA CON INCLUSIÓN DE PLÁSTICO PET RECICLADO” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por los Sres. LUIS ALEXANDER ACERO FRANCO y DAVID DAKER DE LA O PARRALES, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dennis Rodríguez Suárez', is written over a horizontal line.

ING. DENNIS RODRIGUEZ SUAREZ MSc.

TUTOR

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por ofrecerme una enseñanza de calidad durante mi formación profesional.

Al Ingeniero Dennis Rodríguez, quien lideró este proyecto, compartiendo su conocimiento y haciendo posible el desarrollo de este trabajo. quien dedicó numerosas horas de esfuerzo y aportó su experiencia para la mejora de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I.....	18
INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Problema de investigación.....	20
1.2. Antecedentes.....	21
1.3. Hipótesis.....	23
1.4. Objetivos.....	23
1.4.1. Objetivo General.....	23
1.4.2. Objetivos Específicos.....	23
1.5. Alcance.....	24
1.6. Variables.....	24
1.6.1. Variables Dependientes:.....	24
1.6.2. Variables Independientes:.....	25
CAPITULO II.....	26
2.1. Materiales de construcción tradicionales.....	26
2.1.1. Historia y uso de los bloques de arcilla en la construcción.....	26
2.1.2. Composición y características físicas de los bloques de arcilla.....	27

2.1.3. Ventajas y desventajas de los bloques tradicionales	28
2.1.4. Procesos de fabricación artesanal e industrial	28
2.2. Residuos plásticos y su impacto ambiental	30
2.2.1. Tipos de residuos plásticos más comunes	30
2.2.2. El plástico PET: características, usos y volumen de desecho.....	31
2.2.3. Problemática ambiental del plástico no reciclado	32
2.2.4. Políticas y normativas sobre el reciclaje de plásticos.....	33
2.3. Plástico PET reciclado como material alternativo.....	33
2.3.1. Propiedades del PET reciclado y su transformación	35
2.3.2. Usos del PET reciclado en la industria de la construcción.....	36
2.3.3. Estudios e investigaciones previas sobre bloques con inclusión de PET	36
2.3.4. Limitaciones y desafíos en el uso de plásticos reciclados	37
2.4. Análisis técnico de los bloques de construcción	38
2.4.1. Ensayos de resistencia a la compresión.....	38
2.4.2. Ensayo de absorción de agua.....	38
2.4.3. Ensayo de peso unitario.....	39
2.4.4. Normas técnicas nacionales e internacionales (INEN, ASTM, etc.).....	40
2.5. Análisis económico en materiales de construcción	41

2.5.1. Criterios para evaluación de costos de producción	41
2.5.2. Comparación de costos entre bloques tradicionales y alternativos	42
2.5.3. Costo-beneficio del uso de materiales reciclados.....	43
2.5.4. Impacto económico en la producción a pequeña y mediana escala	43
2.6. Enfoque hacia la sostenibilidad en la construcción	44
2.6.1. Construcción sostenible y economía circular	44
2.6.2. Reducción del impacto ambiental mediante innovación en materiales	45
2.6.3. Aportes del reciclaje a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	45
2.6.4. Perspectivas futuras en el uso de materiales alternativos en Ecuador.....	46
CAPITULO III	48
METODOLOGÍA.....	48
3.1 Enfoque de la investigación.....	48
3.2 Tipo y diseño de investigación	48
3.3 Población y muestra	49
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	49
3.5 Procedimiento.....	50
3.6 Análisis de datos.....	51
3.7 Viabilidad ambiental y económica	51

CAPITULO IV	53
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.1. Dosificación de materiales	53
4.2 Resultados de los Ensayos Físicos y Mecánicos	56
4.2.1. Ensayo de Resistencia a la Compresión	56
4.2.2. Ensayo de Absorción de Agua	57
4.2.3. Peso Unitario (Densidad Aparente).....	58
4.3. Análisis Económico.....	60
4.3.1. Costos de Producción por Tipo de Bloque	60
4.3. Análisis Económico.....	63
4.3.2. Análisis de Costo-Beneficio	63
4.4. Discusión de Resultados.....	69
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 CONCLUSIONES.....	76
5.2 RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
Bibliografía.....	80

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. PORCENTAJE DE PET EN BLOQUES DE ESTUDIOS SELECCIONADOS 34
- FIGURA 2. DOSIFICACIÓN EDE MATERIALES LADRILLOS PET 53
- FIGURA 3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR PORCENTAJE DE PET 56
- FIGURA 4. ABSORCIÓN DE AGUA POR PORCENTAJE DE PET 57
- FIGURA 5. PESO POR PORCENTAJE DE PET EN BLOQUE DE ARCILLA 59
- FIGURA 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE BLOQUES DE ARCILLA CON PET RECICLADO 62
- FIGURA 7. IMPACTO DE CONTENIDO DE PET EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 65
- FIGURA 8. COMPARACIÓN DE COTOS ADICIONALES VS AHORRO POR TRANSPORTE 67
- FIGURA 9. VALOR ECOLÓGICO ADICIONAL POR M3 DE BLOQUES CON 15% PET 69
- FIGURA 10. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE BLOQUES CON PET RECICLADO 70
- FIGURA 11. COMPARACIÓN DE BLOQUES CON PET VS ESTUDIOS PREVIOS 71
- FIGURA 12. PROPIEDADES DE BLOQUES CON PET VS REQUISITOS NO ESTRUCTURALES 73

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN FÍSICO-MECÁNICA ENTRE BLOQUES DE ARCILLA TRADICIONALES Y CON PET RECICLADO	29
TABLA 2. APLICACIONES MÁS COMUNES DEL PLÁSTICO PET Y SU TIEMPO DE DEGRADACIÓN	32
TABLA 3. RESUMEN DE ESTUDIOS SOBRE BLOQUES CON INCLUSIÓN DE PET RECICLADO.....	34
TABLA 4. COMPARATIVA: PARÁMETROS TÉCNICOS DE BLOQUES SEGÚN NORMAS INEN Y ASTM.....	40
TABLA 5. TABLA COMPARATIVA DE COSTOS POR TIPO DE BLOQUE (POR 1,000 UNIDADES)	42
TABLA 6. RESUMEN OBJETIVOS SOSTENIBLES	46
TABLA 7. TABLA DE LAS PROPORCIONES UTILIZADAS	54
TABLA 8. PROPORCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE MATERIALES EN MEZCLAS CON PET RECICLADO"	54
TABLA 9. TABLA DE RESULTADOS PROMEDIO POR TIPO DE BLOQUE	56
TABLA 10. PORCENTAJES DE ABSORCIÓN POR TIPO DE BLOQUE	57
TABLA 11. PESO PROMEDIO DE CADA TIPO DE BLOQUE	58
TABLA 12. COSTO DE INSUMOS, MANO DE OBRA Y ENERGÍA	60
TABLA 13. COMPARATIVA DE COSTOS ENTRE BLOQUES TRADICIONALES Y CON PET.....	61
TABLA 14. "PROPIEDADES Y COSTOS DE BLOQUES CON INCLUSIÓN DE PET RECICLADO"	64
I ANEXO 1: MUESTRA DE PET TRITURADO	83
II ANEXO 2: AGREGACIÓN DE PET A LA MUESTRA DE ARCILLA	83
III ANEXO 3: MEZCLA DE PET	84
IV ANEXO 4: ENCONTRADO DEL LADRILLO	84
V ANEXO 5: DESMOLDE DE LADRILLO	85
VI ANEXO 7: RUPTURA DE LADRILLO CON 10% DE PET	85
VII ANEXO 6: RUPTURA DE LADRILLO CON 5% DE PET.....	85

“ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE
BLOQUES DE ARCILLA TRADICIONALES Y BLOQUES DE
ARCILLA CON INCLUSIÓN DE PLÁSTICO PET RECICLADO”

Autores: Acero Franco Luis Alexander, De La O Parrales David Daker

Tutor: Rodríguez Suarez Dennis Enrique

RESUMEN

La presente investigación evalúa la incorporación del PET reciclado en bloques de arcilla como una alternativa sostenible para la construcción con el objetivo de determinar la viabilidad técnica ambiental y económica analizando mezclas con 0 %, 5 %, 10 % y 15 % de PET, comparando propiedades como la resistencia a la compresión, absorción del agua, peso unitario y costos de producción dando como resultado que los bloques con 5 % y 10 % del PET alcanzan resistencia de 11.8 a 10.4 MPa, cumpliendo con los estándares ASTM C-652 para aplicaciones estructurales como muros divisorios. La resistencia disminuye hasta el 9.0 MPa con el 15 % del PET limitando el uso de estructuras debido a la baja adherencia del PET durante la cocción. La absorción del agua reduce el 12.0 % y 9.8% al igual que el peso de 1800 a 1540 kg por metro cúbico, mejorando la sostenibilidad y el transporte. Los costos aumentan siendo la mezcla con 5 % del PET, la más viable económicamente desde el punto de vista ambiental, el uso del PET reduce la extracción de arcilla y reutiliza las botellas plásticas, promoviendo la economía circular. Comparaciones con estudios de universidades como la nacional de Colombia y la autónoma de México, confirman los beneficios con ligereza y aislamiento. La dosificación precisa garantiza inconsistencias, por ello es recomendable optimizar los costos y estandarizar las aplicaciones no estructurales consolidando el PET reciclado como un material sostenible.

PALABRAS CLAVE: PET reciclado, Bloques de arcilla, Sostenibilidad, Resistencia a la compresión, Economía circular

“ANALISIS COMPARATIVO TECNICO Y ECONOMICO DE
BLOQUES DE ARCILLA TRADICIONALES Y BLOQUES DE
ARCILA CON INCLUSION DE PLASTICO PET RECICLADO”

Autores: Acero Franco Luis Alexander, De La O Parrales David Daker

Tutor: Rodríguez Suarez Dennis Enrique

ABSTRACT

This research evaluates the incorporation of recycled PR in clay and concrete blocks as a sustainable alternative for construction with the objective of determining the technical, environmental and economic viability by analyzing mixtures with 0%, 5%, 10% and 15% PET, comparing properties such as compressive strength, water absorption, unit weight and production costs resulting in blocks with 5% and 10% PET. They reach resistance of 11.8 to 10.4 MPa, complying with ASTM C652 standards for structural applications such as dividing walls. The resistance decreases to 9.0 MPa with 15% P limiting the use of structures due to the low adhesion of the PC during firing. Water absorption reduces 12.0% and 9.8% as well as the weight from 1800 to 1540 kg per cubic meter, improving sustainability and transportation. Costs increase with the 5% PET blend being the most economically viable from an environmental perspective. The use of PET reduces clay extraction and reuses bottles, promoting the circular economy. Comparisons with studies from universities such as the National University of Colombia and the Autonomous University of Mexico confirm the benefits of lightness and insulation. Precise dosing guarantees inconsistencies. Therefore, it is advisable to optimize costs and standardize non-structural applications, consolidating recycled PET as a sustainable material.

KEYWORDS: Recycled PET, Clay Blocks, Sustainability, Compressive Strength,

Circular Economy

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el crecimiento acelerado de la población y la urbanización han impulsado una gran demanda de materiales de construcción, generando también un notable impacto ambiental debido al consumo de recursos naturales y la generación de residuos. Uno de los materiales más utilizados en edificaciones de baja y mediana altura son los bloques de arcilla, conocidos por su bajo costo, disponibilidad y aceptables propiedades técnicas. Sin embargo, su producción tradicional implica un uso intensivo de arcilla y energía, factores que afectan directamente la sostenibilidad ambiental del proceso constructivo.

Por otra parte, la sociedad hace frente a una creciente problemática correlacionada debido a la amplia acumulación de residuos plásticos, en particular, el tereftalato de polietileno (PET), siendo uno de los materiales más utilizados en envases y productos de consumo masivo. No obstante, pese a su desarrollo en materia de reciclaje y sus grandes volúmenes, este material aún termina en vertederos o contaminando ecosistemas terrestres y acuáticos, situación que ha ocasionado un llamado urgente para la búsqueda de propuestas innovadoras que fomente el reciclaje de plásticos en campos de alto impacto como el de la construcción.

En este contexto, se evalúa la viabilidad de incorporar aquellos plásticos reciclados como el PET en la fabricación de elementos constructivos, todo esto con el propósito de reducir la dependencia de materias primas vírgenes y lograr mitigar el impacto ambiental. Por su parte, estudios internacionales evidenciaron que el uso de

plástico reciclado en la producción de bloques de construcción puede ir generando beneficios notables como, la reducción en el peso de sus elementos, así como también una mejora en las propiedades de aislamiento térmico y ventajas económicas. Por ende, estas prácticas se logran encontrar en una fase inicial para su implementación en países en vías de desarrollo como Ecuador, que requiere una validación técnica adaptada a condiciones locales para garantizar su sostenibilidad al momento de aplicarlas.

El objetivo principal de este estudio fue realizar un análisis comparativo entre el desempeño técnico y económico por bloques de arcilla convencionales y aquellos que son elaborados con plástico PET reciclado. Para esto se evaluaron parámetros como la resistencia a la compresión, así como también la absorción de agua y el peso por unidad, todo esto complementado con un análisis detallado de los costos de su producción, comparación que permitió determinar si la viabilidad técnica y económica de los bloques reciclados cuentan como alternativa sostenible en la industria de construcción.

Su importancia evidencia no solo su aporte al desarrollo de materias eco amigables sino que también por su impacto potencial en comunidades locales, lo que revela especialmente en regiones donde la producción artesanal de bloques coexiste con minuciosos desafíos críticos dentro de la gestión de residuos plásticos, por lo tanto, la incorporación de estos elementos se presenta como una estrategia innovadora en el que se fomenta prácticas responsables y soluciones para la valorización de desechos, de manera que contribuya así a la sostenibilidad y bienestar ambiental social.

Su aporte se ve enriquecido en el campo de los materiales de construcción sostenibles, ya que al proporcionar evidencia empírica y datos cuantificables se establecen dentro de un marco de referencia para futuras investigaciones. Dichos resultados evidencian que la sostenibilidad ambiental puede converger junto con la eficiencia económica, ya que promueve un modelo industrial alineado con demandas de

conservación de recursos y reducción de una huella ecológica, dicho enfoque no solo optimiza los procesos, sino que también colabora en su transición hacia sistemas productivos regenerativos.

El diseño metodológico se integró con ensayos de laboratorio y modelos financieros adaptando sus costos y beneficios, en el que se asegura una evaluación integral, asimismo los resultados se organizaron en 3 principales ejes como, el desempeño estructural, su impacto ambiental y a su vez la rentabilidad económica, estructura proporcionada desde una perspectiva holística que facilitaron la toma de decisiones apoyadas en la adopción de prácticas sostenibles.

1.1.Problema de investigación

En la actualidad, uno de los grandes retos que enfrenta la industria es integrar prácticas sostenibles sin sacrificar la calidad ni la funcionalidad de los materiales utilizados. Según Madrid (2025), el bloque de arcilla tradicional continuó siendo uno de los elementos de construcción más utilizados, gracias a su costo accesible y facilidad de producción y propiedades adecuada para edificaciones de baja y mediana altura. No obstante, su proceso de fabricación demandó un consumo bastante considerable de energía, por lo que requirió extracción masiva de arcilla, lo que contribuyó al deterioro ambiental.

De esta forma semejante, el incremento de residuos plásticos, especialmente del tereftalato de polietileno (PET), manifestó un problema ambiental de gran magnitud a nivel mundial, aun cuando existían esfuerzos por inducir el reciclaje, una mayor cantidad del PET desechado terminó en vertederos o en cuerpos de agua acumulados, lo que generó grandes impactos ecológicos. En este contexto, se vuelve urgente identificar formas

alternativas de reutilización de este material en sectores de alto consumo como la construcción.

Entonces, la incorporación de plásticos reciclados en la fabricación de bloques o ladrillos representa una alternativa un poco innovadora para reducir el impacto ambiental optimizando ciertas propiedades físicas de los materiales. Según Solorzano (2024), Los estudios que evalúan de manera íntegra tanto el desempeño técnico como el económico de estos materiales, se pone en comparación con bloques tradicionales ya que estos son muy escasos, lo que repercute en investigaciones limitadas para la adopción de soluciones viables en esta industria.

Por ello, resulta necesario realizar un análisis comparativo que permita determinar si los bloques de arcilla con inclusión de PET reciclado representan una alternativa viable, tanto desde el punto de vista de desempeño técnico como de costo de producción. Esta investigación busca dar respuesta a esa necesidad, generando información útil para la toma de decisiones en torno a la sostenibilidad en la construcción.

1.2. Antecedentes

A nivel global países como India, México y Brasil han avanzado de manera significativa en la investigación sobre la incorporación de residuos plásticos en materiales de construcción, en el caso de India se ha logrado comprobar que agregar pequeñas cantidades de PET triturado no solo reduce su peso material sino también que mejora su aislamiento térmico, En México por ejemplo, instituciones como la UNAM logran impulsar la producción de ladrillos ecológicos a partir de residuos reciclables que destaca desde los beneficios ambientales hasta los económicos. (Rengifo et al., 2020).

En Colombia, el Centro de Investigación de Materiales de Construcción ha logrado avances relevantes para el desarrollo de bloques con residuos plásticos, en el que

se obtuvieron resultados prometedores en cuanto a términos de resistencia, dichas experiencias internacionales evidencian y confirman la viabilidad técnica de incorporar PET reciclado bajo su potencial como alternativa sostenible frente a estos convencionales materiales (Santafe, 2021).

En contraste, Ecuador tiene una iniciativa para integrar materiales reciclados para la construcción que aún son incipientes, en su mayoría los esfuerzos se han centrado en el reciclaje para la aplicación en industrias y productos como botellas y fibras textiles, mientras que su uso para elementos que se relacionen en la construcción permanecen aún limitados, sin embargo, aunque investigaciones preliminares en distintas universidades como la ESPE o la ULEAM han explorado la incorporación de estos residuos sólidos con mezcla de cemento La cual no sea un profundizado en el análisis comparativo con materiales tradicionales (MAATE, 2023).

Aunque el país cuenta con normas ambientales que promueven la reutilización de residuos, también facilita el desarrollo para propuestas innovadoras como esta. Por su parte, según Bonilla (2016), existe una carencia de evidencia técnica que logre respaldar la incorporación de materiales alternativos, como el PET reciclado en bloques de arcilla, particularmente desde un análisis comparativo.

Dentro de las provincias ecuatorianas como Santa Elena y Manabí, la producción de bloques artesanales constituye en una actividad tradicional irrelevante en su economía para numerosas familias, principalmente por la extracción de arcilla que degrada el suelo y altera el ecosistema. A su vez, estas regiones se enfrentan a desafíos relacionados con la contaminación por aquellos residuos plásticos cuya gestión es ineficiente agravando los problemas del medio ambiente. Situación que evidencia la urgencia de desarrollar soluciones de manera sostenible que combine la gestión adecuada de residuos plásticos

junto con la producción artesanal de materiales constructivos, logrando así contribuir a la reducción de impactos negativos.

En este contexto, resultó especialmente relevante explorar soluciones que integren la reducción de residuos plásticos con la mejora de prácticas de la construcción. Algunos pequeños emprendedores han mostrado interés en alternativas ecológicas, pero carecen del respaldo técnico y económico que les permita adoptar nuevas metodologías. Por ello, esta investigación tiene una gran relevancia para generar conocimiento útil y aplicable en estas zonas.

1.3.Hipótesis

La incorporación de plástico PET reciclado en la fabricación de bloques de arcilla aumenta el desempeño económico del producto sin obstaculizar su práctica técnica en comparación con los bloques de arcilla convencionales.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar un análisis comparativo técnico y económico entre los bloques de arcilla tradicionales y los bloques de arcilla con inclusión de plástico PET reciclado, con el fin de determinar su viabilidad para ser utilizados en la industria de la construcción.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de los bloques de arcilla con inclusión de PET reciclado en comparación con los bloques tradicionales.
- Analizar los costos de producción y rentabilidad de ambos tipos de bloques.

➤ Comparar el comportamiento técnico y económico de ambos bloques para establecer su factibilidad constructiva.

1.5. Alcance

Esta investigación se centró en realizar un análisis comparativo tanto técnico como económico entre bloques tradicionales de arcilla y bloques fabricados con arcilla combinada con plástico reciclado.

Las pruebas técnicas fueron enfocadas en evaluar propiedades claves como la resistencia a la compresión, el peso por unidad y la absorción de agua, conforme a las normativas nacionales e internacionales, además de esto se llevó a cabo análisis que incluyó la parte económica de los costos de cada insumo, mano de obra energía y procesamiento, todo esto con el fin de determinar si existe una rentabilidad en ambas alternativas desde una perspectiva productiva.

Es así como el estudio se desarrolló en un entorno controlado, el cual facilitó la extrapolación de los resultados en contextos locales realizándose bajo una adaptación adecuada. No obstante, esta investigación no incluye pruebas a escala industrial ni evaluaciones a largo plazo en cuanto a la resistencia o el comportamiento de las estructuras en construcción reales. Por lo que su alcance se limitó a un análisis preliminar para poder explorar la viabilidad de incorporar dichos bloques reciclados en procesos de construcción donde la región esté con una alta generación de residuos plásticos y también una tradición de producción artesanal de bloques.

1.6. Variables

1.6.1. Variables Dependientes:

Desempeño técnico y económico de los bloques

Se define como la evaluación de su eficiencia en el que se considera tanto sus propiedades físicas esenciales como la resistencia mecánica, el peso por unidad y la absorción de agua, así como también los costos asociados a su producción. Esta variable nos permite comparar de forma objetiva los bloques tradicionales con aquellos que integran este plástico reciclado, con el objetivo de identificar aspectos alternativos en construcciones viables y sostenibles de manera técnica y económica.

1.6.2. Variables Independientes:

Inclusión de plástico PET reciclado en la mezcla del bloque

Esta variable correspondió a la anexión de un porcentaje de PET reutilizado en la combinación de arcilla para la fabricación de bloques. No se modificó en el marco de la valoración comparativa, dado que es componente esencial que diferencia ambos productos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Materiales de construcción tradicionales

2.1.1. Historia y uso de los bloques de arcilla en la construcción

Los bloques de arcilla tienen una larga trayectoria en la historia de la humanidad. Es así como a lo largo de la historia la arcilla ha sido un material de construcción fundamental, que es utilizado por civilizaciones como Mesopotamia, Egipto y el imperio romano, quienes en su momento fabricaban ladrillos secados al sol o también cocidos en hornos rudimentarios para construir viviendas o fortificaciones, estos materiales también ofrecen una mayor durabilidad frente a opciones perecederas como la como la madera o también el barro sin cocer.

Su método de fabricación de bloques de arcilla tuvo una transformación durante la Edad Media y el Renacimiento, su uso se preservó en Europa afianzándose como material clave en la arquitectura de ciudades, si bien en la modernidad con la industrialización, la producción de bloques y ladrillos de arcilla se tecnificó, lo que permitió su estandarización y volumen de producción en masa. Según el INEC (2021), esto aumentó su notoriedad en proyectos tanto urbanos como rurales, debido a su bajo costo y facilidad de adquisición.

En América latina, centrándonos especialmente en Ecuador los bloques de arcillas son un pilar de la construcción tradicional ya que, debido a su accesibilidad, bajo costo y conocimiento ancestral se asocian a un manejo óptimo en la producción de sus recursos, tanto de forma artesanal como industrial, lo que permite adaptar a diferentes niveles y

escalas de demanda constructiva, siendo ampliamente utilizada en zonas rurales y urbanas que son menos desarrollados.

2.1.2. Composición y características físicas de los bloques de arcilla

Los bloques de arcilla están mezclados esencialmente por tierra arcillosa que, tras ser moldeada y después cocida en hornos, consigue una gran resistencia y durabilidad. Según (Solano et al., 2024), la arcilla suele integrarse de óxidos de hierro, sílice, alúmina y pequeñas proporciones de otros minerales que dotan de características particulares como el color, la plasticidad y la capacidad de conservar agua. En algunos casos, se le añade aserrín, paja u otros materiales para mejorar su práctica térmica o facilitar el proceso de cocción.

Si contextualizamos en términos de propiedades físicas, los bloques de arcilla se destacan por su resistencia a la compresión, es ahí donde son adecuadas para edificaciones de hasta 2 o 3 pisos y por su buena inercia térmica que logra favorecer condiciones interiores seguras, sin embargo, pese a su limitada resistencia a esfuerzos de tracción se requiere la incorporación de sistemas de refuerzos para garantizar su estabilidad y su seguridad.

Otra de sus características es la porosidad, lo cual influye directamente en su capacidad de absorción de agua. Esta propiedad, si bien permite que los bloques respiren y eviten la condensación interna, puede también comprometer su durabilidad si no se utilizan técnicas adecuadas de impermeabilización. Además, el peso específico de los bloques de arcilla es mayor al de materiales alternativos como los bloques de plástico reciclado, lo que influye en los costos de transporte y esfuerzo estructural (Cardona et al., 2020).

2.1.3. Ventajas y desventajas de los bloques tradicionales

Entre las principales ventajas de los bloques de arcilla tradicionales se encuentra su alta disponibilidad y bajo costo. La materia prima suele encontrarse localmente, lo que reduce los gastos de transporte y producción. También son materiales reciclables, ya que pueden ser reutilizados en nuevas mezclas de construcción o como relleno en otros procesos constructivos. Además, sus propiedades térmicas y acústicas favorecen el confort interior de las viviendas, haciendo que sean una opción apreciada en climas cálidos o templados (Valle, 2024).

Otro beneficio significativo es su resistencia al fuego, debido a que la arcilla cocida no es inflamable y mantiene su solidez bajo temperaturas elevadas, entonces logra convertirse en mejores opciones ventajosas en zonas propensas a incendios. Además de que su uso está considerablemente documentado, lo cual facilita su aceptación en proyectos gestionados por códigos de construcción nacionales e internacionales.

No obstante, los bloques de arcilla también presentan desventajas importantes. Uno de los Principales desafíos que están asociados a estos materiales es su peso por el cual incrementa la carga muerta sobre las estructuras, y en consecuencia demanda un mayor dimensionamiento de cimentaciones y elementos para su refuerzo. Según Vélez y Jarre (2024), estos bloques presentan una vulnerabilidad frente a la humedad cuando no se aplican adecuadamente tratamientos, Lo que puede ir desde liberando sus propiedades mecánicas con el paso del tiempo afectando la construcción y su durabilidad.

2.1.4. Procesos de fabricación artesanal e industrial

El procedimiento de manufactura de bloques de arcilla es común en zonas rurales o con limitada dotación industrial, el cual tiene su fase inicial con la extracción manual de arcilla, donde se deja reposar para el mejoramiento de su plasticidad. Luego se mezcla con agua y, en ocasiones, con materiales orgánicos como paja o aserrín, hasta obtener una

masa homogénea. Esta mezcla es colocada en moldes de madera y secada al sol por varios días antes de ser cocida en hornos rudimentarios alimentados con leña o residuos agrícolas (Medranda et al., 2022).

En compensación, el proceso industrial implica de una mayor tecnificación y control de calidad, por lo que la arcilla es extraída y transportada a fábricas donde se expone a trituración, cribado y homogeneización, luego se moldea utilizando prensas o extrusoras que garantizan formas y dimensiones tipificadas, y por consiguiente, los bloques son secados en cámaras especiales y cocidos en hornos de túnel a temperaturas termorreguladas que alcanzan entre 800°C y 1000°C, asegurando una mayor resistencia y durabilidad del producto terminado.

La principal diferencia entre ambos métodos reside en la eficiencia, el control de calidad y la sostenibilidad ambiental, mientras que el proceso artesanal es más accesible y económico; también es muestra mayor variabilidad en cuanto a las propiedades finales del bloque, presentando un impacto ambiental si se emplean técnicas de cocción poco eficientes. Por su parte, el proceso industrial permite mayor uniformidad y producción en masa, pero requiere de mayores inversiones iniciales y consumo energético. En ambos casos, las decisiones técnicas deben considerar tanto la demanda del mercado como la disponibilidad de recursos locales (Fragozo et al., 2024).

Tabla 1.

Tabla 1. Comparación físico-mecánica entre bloques de arcilla tradicionales y con PET reciclado

Aspecto	Bloque Tradicional	Bloque con PET Reciclado
Materia prima	Arcilla natural	Arcilla + plástico PET reciclado
Peso	Alto	Reducido (por inclusión de PET)
Resistencia a compresión	Buena (dependiente del proceso de cocción)	Leve disminución, pero aceptable según dosificación

Aislación térmica	Moderada	Mejorada (el PET actúa como aislante)
Costo de producción	Medio (requiere combustible para cocción)	Potencialmente menor (aprovecha residuos plásticos)
Impacto ambiental	Medio/Alto (emisión de CO ₂ por cocción)	Bajo (reciclaje de PET y menor consumo de combustibles)
Durabilidad	Alta (si se mantiene seco)	Alta (resistencia a la humedad por el PET)
Procesamiento	Artesanal o industrial	Requiere modificación en mezcla y procesos
Aplicabilidad	Ampliamente utilizado en albañilería tradicional	En fase de prueba y optimización, con buen potencial

2.2. Residuos plásticos y su impacto ambiental

2.2.1. Tipos de residuos plásticos más comunes

Los residuos plásticos se han consolidado en uno de los principales desechos sólidos a nivel global a causa de su elevada producción y su lento deterioro. Según Marín (2023), entre los tipos más comunes de residuos plásticos se encuentra el polietileno de alta densidad (HDPE) que es utilizado en envases de detergentes, el polietileno de baja densidad (LDPE) que es empleado en bolsas plásticas, el polipropileno (PP) que se encuentra presente en tapas y empaques, y el tereftalato de polietileno (PET) que es ampliamente utilizado en botellas de bebidas.

El volumen de estos residuos varía según su aplicación y resistencia, en este caso, el PET representa un porcentaje elevado en desechos plásticos de un solo uso debido a su empleo multitudinario en envases descartables. Otros tipos como el PVC, usado en tuberías o el poliestireno expandido (EPS) que son usados como embalajes están presentes en vertederos y entorno natural.

La inadecuada gestión de estos residuos genera múltiples problemas como la obstrucción de alcantarillados, la contaminación de cuerpos de agua y daños directos a la fauna terrestre y marina. Situación que exige la implementación de estrategias sostenibles para su reutilización y valorización en sectores como la construcción, en el que se fomente el principio de economía circular (Magaña y Rodríguez, 2022).

2.2.2. El plástico PET: características, usos y volumen de desecho

El tereftalato de polietileno (PET) es un polímero termoplástico del grupo de los poliésteres, conocido por su resistencia mecánica, transparencia y ligereza. Se puede moldear fácilmente, lo cual lo convierte en el material preferido para envases de alimentos y bebidas. Además, su estructura permite su reciclaje mecánico, convirtiéndolo en uno de los plásticos más valorizados dentro de las cadenas de reciclaje (PNUMA, 2021).

El PET, Un material que es empleado en su mayoría para la fabricación de botellas de refrescos y aceites comestibles, pero también en la industria textil para producir poliéster destacando su versatilidad y sus distintos beneficios. Sin embargo, debido a su elevado consumo de productos fabricados se genera diariamente cantidades muy grandes de residuos especialmente en áreas urbanas con alta demanda de bebidas embotelladas, situación por el cual representa un desafío significativo, que demanda soluciones para la gestión y reducción residuos.

De acuerdo con organismos internacionales, anualmente se producen más de 500 mil millones de botellas plásticas, en tanto el 30% son recicladas de manera adecuada, lo que provoca una acumulación constante en vertederos, ríos y océanos, afectando al medio ambiente, la posibilidad de su reutilización en la creación de bloques de arcilla reciclada representa una oportunidad para mitigar este impacto, transformando el problema en solución con beneficio.

Tabla 2.

Tabla 2. Aplicaciones más comunes del plástico PET y su tiempo de degradación

Aplicación del PET	Producto típico	Tiempo estimado de degradación
Envases de bebidas	Botellas de agua, gaseosas	100 a 1000 años
Empaques alimenticios	Bandejas, envolturas	100 a 500 años
Textiles	Ropa, mochilas, lonas	100 a 200 años
Materiales reciclados	Láminas, fibras, componentes plásticos	100 a 300 años

Nota: Autoría propia en base a las aplicaciones del plástico PET

2.2.3. Problemática ambiental del plástico no reciclado

El plástico no reciclado representa uno de los problemas más graves para el medio ambiente actual. Su acumulación en entornos naturales altera ecosistemas completos, afecta la biodiversidad y contribuye a la contaminación visual y química. Una botella de PET, por ejemplo, puede tardar entre 100 y 1000 años en degradarse completamente, liberando microplásticos y aditivos tóxicos durante ese proceso.

La acumulación de plásticos en los mares representa una amenaza para la biodiversidad marina, el cual provoca la muerte de numerosas especies debido a la ingestión o al enredo con estos materiales. Además de esto la degradación de los envases plásticos se genera de micro plásticos que se van incorporando en la cadena alimenticia, el cual también afecta en la salud de los seres humanos como la de los animales, gran parte de estos plásticos son incinerados liberando al ambiente gases tóxicos los cuales repercuten en la contaminación atmosférica y sus efectos.

Esta problemática se agrava en países con deficiente gestión de residuos sólidos urbanos y falta de cultura de reciclaje. Por tanto, el enfoque actual se centra en la revalorización de estos residuos a través de nuevas tecnologías y su integración en sectores industriales como la construcción, el mobiliario urbano o la producción de energías alternativas.

2.2.4. Políticas y normativas sobre el reciclaje de plásticos

Organizaciones internacionales como la ONU y la Unión Europea han establecido Marcos regulatorios orientados a promover la economía circular y también a reducir el uso de plásticos de un solo uso. Por ejemplo, la Directiva (UE) 2019/904 obliga a los estados a disminuir el consumo de ciertos productos plásticos de manera que se fomente al mismo tiempo el reciclaje eficiente y se estimule la investigación en materiales biodegradables con tecnologías de reutilización.

En América Latina, diversos países se han adoptado normativas similares, en el caso de Ecuador la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva (2021), impulsa un reciclaje formal que se apoya en la organización de recicladores en base y se establece junto con la responsabilidad extendida del productor. A nivel local, existen varias municipalidades que han logrado aprobar ordenanzas que restringe el uso de diversos plásticos promoviendo programas de recolección que contribuyan a una gestión más sostenible.

Sin embargo, el cumplimiento de estas normativas es desigual y exige mayor fiscalización, educación ambiental y participación ciudadana. La incorporación de residuos plásticos en materiales de construcción, como bloques con PET reciclado, se presente como estrategia viable para el reciclaje, siempre que se regule y se evalúe técnicamente para asegurar la sostenibilidad del producto.

2.3. Plástico PET reciclado como material alternativo

La incorporación del plástico PET reciclado en la fabricación de materiales de construcción como bloques de arcilla o mixtos han surgido como alternativas prometedoras para promover la sostenibilidad en la industria de la construcción, manteniendo un enfoque que no solo reduce la dependencia de recursos naturales como

la arcilla, sino que también aborda problemas de acumulación de residuos plásticos fomentando la economía circular.

Al explorar las propiedades de los bloques con PET reciclado, se destacaron beneficios como la reducción de peso, mejoras en el aislamiento térmico y acústico al igual que la resistencia a la humedad, en la tabla 3 mencionamos el resumen de las investigaciones relevantes que evidencian el potencial y las aplicaciones de este material alternativo.

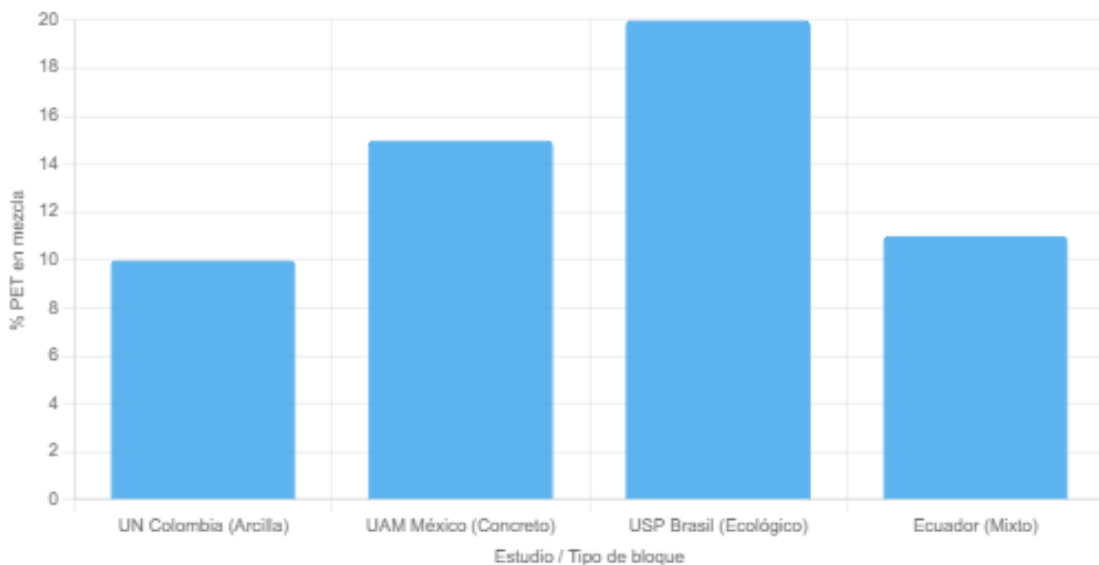
Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de estudios sobre bloques con inclusión de PET reciclado

Estudio / País	% PET en mezcla	Tipo de bloque	Resultados destacados
Universidad Nacional de Colombia	10%	Bloque de arcilla	15% menos peso, mayor aislamiento térmico
Universidad Autónoma de México	15%	Bloque de concreto	Reducción de densidad, buena resistencia
Universidad de São Paulo, Brasil	20%	Bloque ecológico	Aislante acústico, adecuado para cerramientos
Proyecto piloto en Ecuador	10-12%	Bloque mixto	Ligero, resistente a impactos y humedad

Fuente: Adaptado de investigaciones académicas entre 2015–2024.

Figura 1. Porcentaje de PET en bloques de Estudios Seleccionados



Dentro del gráfico de porcentaje PET reciclado utilizado en cada estudio del 10% al 20% se destaca la variabilidad en las mezclas según el tipo de bloque sea este de arcilla, ecológico o mixto detallando los resultados destacados como la reducción del peso, el aislamiento térmico o acústico al igual que la buena resistencia a impactos y humedad, reflejando la versatilidad del PET reciclado como un material alternativo con aplicaciones específicas según el tipo de bloque y el contexto constructivo.

2.3.1. Propiedades del PET reciclado y su transformación

El plástico PET reciclado conserva muchas de las propiedades del material original así como también una adecuada resistencia mecánica con el bajo peso, con su estabilidad química y la factibilidad para su procesamiento, como polímero termoplástico, el cual permite ser fundido y moldeado sin sufrir una degradación acelerada, esto también posiciona como recurso prometedor para aplicaciones futuras, por lo tanto es importante considerar que estas características pueden variar en función a la cantidad de reciclaje en sus ciclos y los métodos de transformación que se empleen durante su procesamiento.

El proceso de transformación del PET reciclado inicia por la recolección y clasificación de sus residuos, seguido de lavado, triturado y secado. Posterior a esto, el material se funde y se convierte en gránulos o láminas según su aplicación final. En ciertos casos se emplean técnicas de extracción o inyección para crear piezas específicas para su uso en construcción, la “escama de PET” se mezcla directamente con materiales como arcilla.

En el proceso de reciclaje se garantiza la pureza del PET, dado que existe una presencia de otras impurezas que pueden comprometer de forma significativa a sus propiedades fisicoquímicas, Ah Es por ello que se mantiene un nivel alto de pureza convirtiéndose en un aspecto que asegure la calidad del producto final, especialmente en

la fabricación de dichos componentes que son sometidos a esfuerzos mecánicos donde la integridad del material es importante para su desempeño.

2.3.2. Usos del PET reciclado en la industria de la construcción

El PET reciclado encuentra aplicaciones innovadoras en el sector de la construcción, que puede ir integrándose al movimiento hacia materiales ecológicos y netamente sostenibles. Una de sus aplicaciones más frecuentes es como aditivo en mezclas de bloques, donde se logra sustituir parcialmente agregados finos como componente importante, esto reduce el consumo de materias primas no renovables y también mejora las propiedades como la resistencia térmica y la ligereza del producto.

Además de esto, el PET reciclado se utiliza en la fabricación de paneles aislantes, techos livianos, geotextiles y fibras para reforzar estructuras. Soluciones que se aprovechan para la durabilidad del material, contando con su resistencia al agua y agentes biológicos, el cual mejora el desempeño de construcciones en climas húmedos o en zonas con necesidad de aislamiento térmico.

La versatilidad del PET permite combinarlo con materiales con la cal, cemento, yeso o arcilla, el cual impulsa a investigaciones mundiales para incorporarlo en bloques de construcción, obteniendo productos más livianos con mejores propiedades de aislamiento acústico y térmico, estas iniciativas además de generar oportunidades para gestionar residuos contribuyen también a una economía circular.

2.3.3. Estudios e investigaciones previas sobre bloques con inclusión de PET

Diversos estudios han evaluado la viabilidad técnica de incluir PET reciclado en bloques de construcción. Investigaciones en universidades de Colombia, México, Brasil y España han demostrado que al incluir escamas de PET en proporciones controladas

(entre 5% y 20%) se obtienen bloques con buena resistencia a la compresión, menor densidad y una absorción de agua aceptable para usos no estructurales o de cerramiento.

Por otra parte, un estudio de la Universidad Nacional de Colombia revela que bloques de arcilla con un 10% de PET triturado reduce su peso en un 15% tiesto mejora su capacidad de aislamiento térmico, el cual los hace ideales para viviendas de bajo costo en regiones cálidas, además también se observa un aumento en la resistencia de impactos gracias a la capacidad para absorber y redistribuir energía.

En Ecuador, existen diversas universidades que han explorado la fabricación de bloques ecológicos mediante una incorporación de residuos plásticos, aunque sus resultados pueden ser prometedores, aun así, se requiere de un cumplimiento de estándares técnicos claros que regulen su uso de manera permanente, si se produce una dosificación y mezcla adecuada hoy este elemento reciclado se podría posicionar como sustituto parcial de manera viable y en beneficio para la construcción.

2.3.4. Limitaciones y desafíos en el uso de plásticos reciclados

La incorporación de PET reciclado en la construcción enfrenta varias limitaciones y desafíos, en su calidad variable de material reciclado influenciada por su origen y nivel de contaminación, afecta gravemente a las propiedades del producto final, el cual dificulta la estandarización de procesos y la obtención de resultados consistentes.

Otro obstáculo importante es la ausencia de normativas técnicas que se especifiquen en la regulación de su uso en materiales reciclados de elementos estructurales, en diversos países las leyes de construcción no consideran los plásticos reciclados, los cuales son restringidos en su uso a proyectos experimentales o de pequeña escala, además de esto se percibe una negativa entre los profesionales del sector respecto a la confiabilidad de los materiales y limita la aceptación de forma general.

Por último, la integración de PET en materiales de construcción exige estudios exhaustivos sobre su desempeño a largo plazo, particularmente en climas extremos o bajo cargas estructurales, pese a estas barreras se ofrece una alternativa prometedora que con el soporte técnico adecuado puede impulsar significativamente la sostenibilidad en el sector de la construcción.

2.4. Análisis técnico de los bloques de construcción

2.4.1. Ensayos de resistencia a la compresión

Resulta esencial el ensayo de resistencia a la compresión para evaluar la capacidad de un bloque con el soporte de carga sin fracturas, procedimiento por el cual consiste en aplicar una carga axial sobre el bloque hasta que se produzca su fallo, estos bloques de arcilla que son tradicionales exhiben resistencias variables dependiendo de la cocción y la homogeneidad del material, oscilando generalmente entre 35 y 70 kg/cm².

En los bloques con PET reciclado, su resistencia depende del porcentaje de aleación y la composición de la mezcla, investigaciones indican que una incorporación moderada es decir entre 5% y 10%, no afecta significativamente la resistencia estructural y en ciertos casos mejora la tenacidad del material, sin embargo, un exceso en la inclusión puede reducir la cohesión interna del bloque.

Estos resultados deben contrastarse con las normativas técnicas vigentes que establecen mínimos aceptables para el uso de bloques en construcciones no estructurales. Los valores obtenidos en laboratorio permiten validar si los bloques con PET cumplen con los requerimientos para su uso en cerramientos, divisiones interiores u otras aplicaciones secundarias.

2.4.2. Ensayo de absorción de agua

El ensayo de absorción de agua evalúa la capacidad de un bloque para retener la humedad, uno de los factores claves es que afecta su durabilidad y comportamiento en

climas húmedos, los bloques de arcilla tradicionales debido a su porosidad natural presentan una alta absorción lo que puede derivar en degradación o proliferación de hongos en condiciones no controladas.

Al lograr la incorporación de PET reciclado en la mezcla se evidencia la reducción en la absorción de agua, ya que el plástico actúa como una barrera parcial que solo disminuye la capilaridad de los poros, característica por el cual es particular y ventajosa en regiones con alta humedad, mejorando así su duración sin necesidad de tratamientos adicionales.

El ensayo generalmente se realiza sumergiendo el bloque durante 24 horas y midiendo el porcentaje de agua absorbida con relación a su peso seco. Los estándares nacionales (INEN) y normas como ASTM C140 establecen rangos aceptables según el tipo de bloque, lo cual permite determinar si el producto con inclusión de PET es apto para uso constructivo.

2.4.3. Ensayo de peso unitario

La densidad aparente o peso unitario del bloque resulta fundamental para determinar cargas muertas y costos de transporte del material, es por eso que los bloques de arcilla tradicionales presentan un peso específico que están elevados debido a la compactación y densidad del material cocido, el cual genera mayores costos de transporte y aun así requiere refuerzos estructurales adicionales.

Con la incorporación de este elemento reciclado se reduce el peso unitario de los bloques debido al que plástico posee una densidad inferior a la de la arcilla, propiedad por el cual los hace más ligeros y simplifica su manipulación e instalación en una obra, asimismo, y los bloques que son de menor peso pueden llegar a optimizar la eficiencia energética en los edificios al lograr disminuir la inercia térmica en las paredes.

El ensayo se realiza pesando el bloque y dividiendo su masa por su volumen total. Los resultados permiten clasificar los bloques según su uso: estructurales o de cerramiento. Una densidad controlada también permite estimar costos de producción y logística más precisos en proyectos de edificación sostenible.

2.4.4. Normas técnicas nacionales e internacionales (INEN, ASTM, etc.)

El cumplimiento de normas técnicas resulta esencial para poder garantizar la seguridad y la calidad de los materiales de construcción. En este caso Ecuador, por el Instituto ecuatoriano de normalización (INEN) establece parámetros específicos para bloques cerámicos, cómo en la norma INEN 3162 que regula resistencia, dimensiones y absorción de agua.

A nivel internacional, normas como la ASTM C62 (para ladrillos de arcilla cocida) y ASTM C140 define un método de ensayo, valores mínimos de resistencia y tolerancias dimensionales, el cual sirve como referencia para comparar resultados de laboratorio con estándares aceptables.

En estos estudios con materiales innovadores como el PET reciclado, es crucial para adaptar estos criterios o identificar normativas equivalentes que contemplen el uso de residuos plásticos, cumpliendo con estos estándares se asegura la viabilidad técnica del bloque y facilitan su posible homologación y comercialización futura tanto en el nivel nacional comercial como el internacional.

Tabla 4.

Tabla 4. Comparativa: Parámetros Técnicos de Bloques según Normas INEN y ASTM

Parámetro Técnico	Norma INEN / ASTM	Bloque de Arcilla Tradicional	Bloque con PET Reciclado
Resistencia a la compresión	INEN 3162 ≥ 35 kg/cm ² ASTM C62 ≥ 8.6 MPa	35 – 70 kg/cm ²	30 – 60 kg/cm ² (según % PET)

Absorción de agua	INEN 3162 \leq 18% ASTM C62 \leq 17% (clima moderado)	15% – 20%	10% – 16% (menor absorción con PET)
Peso unitario (Densidad)	No aplica como rango fijo ASTM C140 orientativo	1,600 – 1,800 kg/m ²	1,300 – 1,500 kg/m ² (más ligero)
Dimensiones y tolerancias	INEN 3162 / ASTM C55: \pm 3 mm	Variable	Variable, con buena homogeneidad
Usos permitidos	Cerramientos, divisiones, muros no portantes	Apto para cerramientos	Apto para cerramientos y divisiones

Este análisis revela que la incorporación del PET reciclado en bloques de construcción con porcentajes entre el 10% y 20% ofrece beneficios significativos según el bloque y el contexto de aplicación, los bloques de arcilla con el 10% de PET destacan por la reducción de peso en un 15% y por su mayor aislamiento térmico ideal para aplicaciones no estructurales, por otro lado los bloques de arcilla con el 15% de PET de la universidad autónoma de México muestra menores densidades manteniendo resistencia lo que hace viable la estructura ligera , los bloques ecológicos con el 20% de PET sobresalen como aislantes acústicos adecuados para cerramientos mientras que los bloques mixtos con 10% al 12% de PET son ligeros y resistentes a impactos y humedad dejando como resultado las mejoras en propiedades como ligereza y aislamiento reforzando el potencial del PET reciclado como material sostenible.

2.5. Análisis económico en materiales de construcción

2.5.1. Criterios para evaluación de costos de producción

Para realizar un análisis económico eficaz en el sector de materiales de construcción, es necesario considerar criterios como los costos directos e indirectos, la inversión en maquinaria y herramientas, los gastos de energía, transporte, mano de obra,

así como la durabilidad y mantenimiento de los materiales. Estos factores determinan el costo total del producto y su rentabilidad a lo largo del tiempo.

La evaluación de los bloques de construcción considera los costos de materia prima (arcilla, PET, aditivos), en el que la energía requerida para la cocción o compactación con los tiempos de producción influyen en los costos de oportunidad, la eficiencia en el proceso productivo determina directamente el costo final por unidad.

Además de esto es crucial analizar la escalabilidad del modelo de producción, es decir cómo varían los costos al incrementar el volumen fabricado, aunque estos bloques con PET reciclado pueden disminuir los costos de materia prima a menudo aumentan las relacionados con la recolección limpieza y procesamiento del plástico.

2.5.2. Comparación de costos entre bloques tradicionales y alternativos

Los bloques de arcilla tradicionales demandan procesos de extracción, secado y cocción, los cuales consumen una gran cantidad de energía en especial en hornos de altas temperaturas representando hasta el 50% del costo total de producción, en métodos artesanales la baja eficiencia elevada a un más el costo por unidad.

Cuál Por otro lado los bloques que incorporan PET reciclado emplean técnicas de compactación en frío o moldes presionados reduciendo considerablemente el consumo energético, aunque el procesamiento del PET (triturado, lavado y secado) genera costos esto se compensan con un menor uso de arcilla y el beneficio ecológico que aporta el producto.

A continuación, se presenta una tabla comparativa estimada de costos de producción por 1,000 unidades de bloques:

Tabla 5.

Tabla 5. Tabla Comparativa de Costos por Tipo de Bloque (por 1,000 unidades)

Concepto	Bloque de Arcilla Tradicional	Bloque con PET Reciclado
Materia prima (arcilla, PET)	\$150	\$100
Mano de obra	\$120	\$130
Energía (hornos/máquinas)	\$200	\$90
Mantenimiento de equipos	\$30	\$40
Costo total estimado	\$500	\$360
Ahorro estimado	–	28% menos

2.5.3. Costo-beneficio del uso de materiales reciclados

El uso de PET reciclado en la fabricación de bloques de construcción representa una alternativa económicamente viable a mediano plazo. Aunque la inversión inicial puede ser ligeramente superior debido a la necesidad de adquirir maquinaria de trituración y prensado, los costos operativos son menores que en el caso de los bloques cocidos.

Entonces, la incorporación de materiales reciclados aporta un valor agregado ambiental y social que se posiciona a favor de estos productos en mercados ecológicos y también en proyectos sostenibles, que facilitan el acceso a compensaciones en los costos iniciales, a largo plazo el uso de este material reciclado incrementa su rentabilidad al reducir la dependencia de materias primas no renovables, ya que pueden lograr disminuir la generación de residuos, este análisis bajo su costo y beneficio no solo destaca ahorros económicos sino también beneficios ambientales que fortalecen la sostenibilidad de un modelo productivo.

2.5.4. Impacto económico en la producción a pequeña y mediana escala

En la producción a pequeña escala los bloques con PET reciclado representan una alternativa viable ya que no necesitan hornos ni grandes instalaciones, sino que, con una maquinaria básica y procesos en frío, pequeños emprendedores o comunidades logran fabricar bloques a un costo reducido y con un menor impacto ambiental.

A nivel de medianas empresas, la implementación de sistemas más automatizados para el manejo del PET reciclado puede generar economías de escala, reduciendo costos por unidad producida y aumentando la capacidad de respuesta ante la demanda del mercado. Esto mejora la competitividad del producto frente a los bloques tradicionales.

Es por ello por lo que la incorporación de PET reciclado en bloques generó un impacto económico positivo al crear empleos locales en la recolección, clasificación y procesamiento de residuos plásticos. Este modelo de producción no solo beneficia económicamente a los fabricantes, sino que también impulsa el desarrollo local con un enfoque sostenible.

2.6. Enfoque hacia la sostenibilidad en la construcción

2.6.1. Construcción sostenible y economía circular

La construcción sostenible persigue reducir el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones, desde la extracción de materiales hasta la demolición, enfoque por el cual fomenta la eficiencia energética, el uso responsable de recursos y la minimización de residuos buscando un equilibrio entre aspectos económicos, sociales y ambientales.

La economía circular constituye un Pilar importante en la construcción sostenible, al promover el diseño, producción y consumo de materiales basados en la reutilización, el reciclaje y la reducción de desperdicios. En contraposición al modelo lineal de “producir, usar, desechar” encierra en un enfoque el ciclo de los materiales para extender su vida útil generando un valor agregado.

En ese orden de ideas la incorporación de materiales reciclados como el PET en la fabricación de bloques representa una aplicación práctica, la cual transforma residuos en recursos valiosos para la construcción, contribuyendo a la disminución de su

extracción en materias primas vírgenes y la reducción de acumulación de desechos plásticos en el medio ambiente.

2.6.2. Reducción del impacto ambiental mediante innovación en materiales

La innovación en materiales de construcción resulta clave para disminuir la huella ecológica del sector, al incorporarlo con materiales alternativos, reciclados o de bajo impacto se reduce el consumo energético y las emisiones contaminantes que se vinculan en procesos tradicionales como la producción de cemento o la cocción de ladrillos.

El empleo de bloques con PET reciclado ejemplifica esta innovación al momento de minimizar el uso de arcilla y el consumo energético eliminando la necesidad de hornos mientras que se reutiliza un plástico residual que de alguna u otra forma se acumularía en vertederos o ecosistema, todo esto contribuye significativamente a mitigar el cambio climático y la contaminación ambiental.

Además de esto la innovación en materiales fortalece la resiliencia de las edificaciones ante condiciones climáticas extremas mejorando las propiedades técnicas como el aislamiento térmico y acústico el cual optimiza la eficiencia energética de los edificios, es así como los materiales alternativos no solo promueven la sostenibilidad ambiental, sino que también ofrece una mayor durabilidad y comodidad.

2.6.3. Aportes del reciclaje a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El reciclaje y la valorización de residuos plásticos impactan directamente a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, entre ellos el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) y el ODS 13 (Acción por el Clima), al disminuir residuos y emisiones, se promueven en ciudades y comunidades más sostenibles (ODS 11).

La utilización de PET en la construcción constructor contribuye verdaderamente al ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) fomentando industrias sostenibles e

innovadoras, asimismo, impacta positivamente en el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres) a lograr reducir la contaminación y presión sobre ecosistemas terrestres que están afectados por acumulaciones de residuos plásticos.

Estos aportes potencian el cumplimiento de la Agenda 2030, consolidando el sector de la construcción como un actor fundamental para lograr metas ambientales y sociales, de manera que se fomente el reciclaje en este ámbito impulsando una economía baja en carbono, y optimizando la gestión de recursos y mejora en el bienestar de las comunidades.

2.6.4. Perspectivas futuras en el uso de materiales alternativos en Ecuador

En Ecuador el interés por la sostenibilidad y la gestión adecuada de residuos crece significativamente, el cual es respaldado por políticas ambientales, incentivos y una mayor conciencia social, que logre generar oportunidades para expandir el uso de materiales alternativos, como el PET reciclado en la construcción.

La colaboración entre distintas organizaciones, universidades y el gobierno, junto con el desarrollo tecnológico local impulsa la innovación en este sector promoviendo procesos productivos más eficientes y normativas técnicas que realmente aseguren la calidad y seguridad, de este modo se fortalece la recolección y el reciclaje de plásticos esencialmente para garantizar un suministro estable de materia prima. En un futuro, la adopción masiva de materiales reciclados en la construcción posiciona a Ecuador como un referente regional en sostenibilidad, y dinamizando economías locales.

Tabla. 6

Tabla 6. Resumen objetivos sostenibles

Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS)	Relación con la Construcción Sostenible y Reciclaje de PET
ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura	Fomenta la sostenibilidad e innovación en el uso de materiales reciclados para cada proceso

**ODS 11: Ciudades y
Comunidades Sostenibles**

Impulsa prácticas responsables reduciendo los
desechos en distintos entornos.

**ODS 12: Producción y
Consumo Responsables**

Apoya la disminución, reutilización y valorización
de residuos.

ODS 13: Acción por el Clima

Minimiza las emisiones de gases de efecto
invernadero y la huella de carbono

**ODS 15: Vida de Ecosistemas
Terrestres**

Disminuye la contaminación y la presión sobre
ecosistemas terrestres y la biodiversidad.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación adopta un enfoque con un método cuantitativo para recolectar y analizar datos que sean medibles sobre sus propiedades físicas y mecánicas en bloques de arcilla con material PET reciclado. Este método es facilitado con comparaciones objetivas entre bloques tradicionales y experimentales, el cual ha permitido verificar o descartar posibles hipótesis específicas a través de su análisis estadístico numérico.

Además de esto se emplea un enfoque descriptivo-experimental ya que no solo se observan fenómenos, sino que también se intervienen activamente al incluir materiales reciclados en la producción de bloques, lo que facilita evaluar su desempeño en condiciones reales de uso y explorar el potencial del PET como material complementario en la industria de la construcción.

3.2 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación de carácter aplicado busca optimizar procesos de producción de materiales de construcción logrando la reutilización de residuos plásticos por ofrecer beneficios ambientales y estructurales. Enfoque por el cual responde a la problemática de contaminación por plásticos y que propone una solución que se adapte a diversos contextos. El diseño experimental se llevó a cabo en el laboratorio, de manera que consistió en la manipulación controlada de variables como la proporción de PET incorporados en bloques, así para evaluar su impacto en propiedades como la resistencia

su absorción peso, se definieron en un grupo de control compuesto por bloques tradicionales de arcilla y otro grupo experimental con bloques que integren este material reciclado permitiendo así una comparación objetiva y verificable que asegure la validez de los resultados obtenidos.

3.3 Población y muestra

La población estudiada está formada por bloques de arcilla cocida usados en la construcción de viviendas de baja y media altura, estos bloques se utilizan comúnmente en muros estructurales y particiones internas, debido a su amplia resistencia durabilidad y propiedades térmicas, por lo que su empleo está regulado y estandarizado facilitando la definición de una población uniforme para fines comparativos.

La muestra fue de carácter no probabilístico, intencional, seleccionada en función de los objetivos de la investigación. Se elaboraron y analizaron un total de 40 bloques: 20 bloques tradicionales y 20 bloques con adición de PET triturado. Esta selección permitió controlar las variables del proceso de fabricación, garantizando condiciones equivalentes para ambos grupos y asegurando una base adecuada para el análisis estadístico posterior.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se aplicaron técnicas como la estructura de observación del proceso de fabricación, así como también mediciones físicas y ensayos de laboratorio basados en normas técnicas nacionales e internacional, estas técnicas permitieron evaluar con precisión las propiedades mecánicas y físicas de los bloques, que incluyen la resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y comportamiento térmico.

En el desarrollo de este estudio de investigación se emplearon diversos instrumentos de laboratorio para garantizar su precisión en los datos obtenidos, entre ellos se utilizaron prensas hidráulicas que permitieron evaluar la resistencia mecánica, así como también hornos de secado para determinar el contenido de humedad, y las balanzas electrónicas de alta precisión para el pesaje de los bloques, también termómetros infrarrojos que permitieron el análisis de la transferencia térmica, todas estas herramientas permitieron recolectar datos exactos fundamentales para la comparación del desempeño de bloques tradicionales con aquellos que son elaborados a partir del material reciclado.

3.5 Procedimiento

El procedimiento inició con la recolección, limpieza y trituración del PET, ya que se emplearon botellas de plástico post consumo las cuales se lavaron para eliminar impurezas y posterior a eso se secaron para triturarlas en partículas pequeñas de tamaño uniforme, este material se almacena en un ambiente seco para prevenir la absorción de humedad que en su medida pudiera afectar a la mezcla con arcilla.

En la segunda etapa, se procedió con la preparación de la mezcla de arcilla, utilizando materia prima local. La arcilla fue humedecida y amasada hasta alcanzar una textura plástica homogénea. A continuación, se incorporó el PET triturado en proporciones previamente definidas (por ejemplo, 5%, 10% y 15% en peso), mezclando manual o mecánicamente hasta obtener una masa uniforme. Esta masa fue colocada en moldes rectangulares con dimensiones estándar, desmoldada y dejada secar al aire libre por un período de 5 a 7 días.

Finalmente, los bloques fueron cocidos en hornos artesanales o industriales a temperaturas de 800 °C a 900 °C, tras la cocción se realizaron ensayos mecánicos y físicos

para evaluar sus propiedades, datos obtenidos que se registraron y organizaron en tablas y se pusieron en comparación con bloques convencionales permitiendo establecer conclusiones técnicas y ambientales sobre la viabilidad del PET reciclado como aditivo en la construcción.

3.6 Análisis de datos

El análisis de datos se llevó a cabo utilizando herramientas de estadística descriptiva, centradas en calcular valores promedios y desviaciones estándar con máximos y mínimos de las variables evaluadas, este método permitió comparar directamente las propiedades de los bloques tradicionales con aquellos que incorporan PET identificando mejoras o desventajas en cambio neutros con sus características técnicas.

Por otro lado, los resultados se presentan en tablas y gráficos comparativos que facilitan la interpretación y detección de tendencias, además de esto se realizó un análisis cualitativo complementario para evaluar aspectos como la facilidad del moldeo, los tiempos de secado y las observaciones durante la cocción, enfoque el cual permitió de manera integral proporcionar una evaluación completa del comportamiento de estos bloques respaldando las conclusiones del estudio empleado.

3.7 Viabilidad ambiental y económica

Desde la perspectiva ambiental, la incorporación de PET reciclado en la fabricación de bloques de arcilla representa una solución sostenible que contribuye a la disminución de residuos plásticos en vertederos y ecosistemas. Al reutilizar botellas plásticas post consumo, se reduce el volumen de desechos de difícil degradación, promoviendo prácticas de economía circular y gestión responsable de materiales. Esta

alternativa también disminuye la explotación de arcilla natural, ya que el PET actúa como sustituto parcial en la mezcla, alargando la vida útil de las canteras y reduciendo el impacto ambiental de la industria ladrillera.

El uso de este material reciclado en la fabricación de bloques puede llegar a reducir los costos de producción especialmente cuando se obtiene mediante campañas de recolección comunitaria o alianzas con centros de acopio, aunque su adaptación implica costos iniciales todos estos se compensan con un menor consumo de materias primas incluye un valor agregado que aportan los bloques ecológicos en pequeños mercados que priorizan una construcción sostenible.

Además, esta propuesta es viable desde el punto de vista técnico-normativo, ya que la inclusión de PET triturado no compromete el cumplimiento de los parámetros establecidos por normas como la INEN 304, que regula los requisitos físicos y mecánicos de los bloques de arcilla cocida utilizados en muros. Ensayos previos han demostrado que, al incorporar pequeñas proporciones de PET (por ejemplo, entre el 2% y el 5% del volumen del bloque), se mantiene una resistencia a la compresión dentro de los rangos permitidos para edificaciones de hasta dos pisos. De forma similar, la norma ASTM C62 establece requisitos de absorción, resistencia y tamaño que pueden ser cumplidos mediante un control adecuado del proceso de mezclado y cocción, garantizando la calidad del producto final. Esto asegura que los bloques con PET reciclado no solo sean ambiental y económicamente viables, sino también compatibles con los estándares constructivos vigentes.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Dosificación de materiales

La dosificación de materiales es un proceso para determinar las proporciones adecuadas de los componentes que se mezclan para producir un material de construcción como bloques de arcilla y mortero con propiedades específicas expresado generalmente en proporciones de volumen, peso o porcentajes basados en ensayos experimentales y normas técnicas que garantizan características como la resistencia, durabilidad, trabajabilidad o sostenibilidad.

Figura 2. Ladrillos PET



Tabla.7*Tabla 7. Tabla de las proporciones utilizadas*

Material	Proporción (porcentaje en peso)	0% PET	5% PET	10% PET	15% PET
Arcilla	60%	60%	57%	54%	50%
Arena	35%	35%	33%	31%	30%
PET reciclado	Variable	0%	5%	10%	15%
Agua	5%	5%	5%	5%	5%

Se utilizaron porcentajes PET reciclado del 0%, 5%, 10% y 15% en peso sustituyendo parcialmente la arcilla seleccionando porcentajes para evaluar el impacto del PET, las propiedades mecánicas y la sostenibilidad del concreto manteniendo el balance entre el uso del material reciclado y su resistencia.

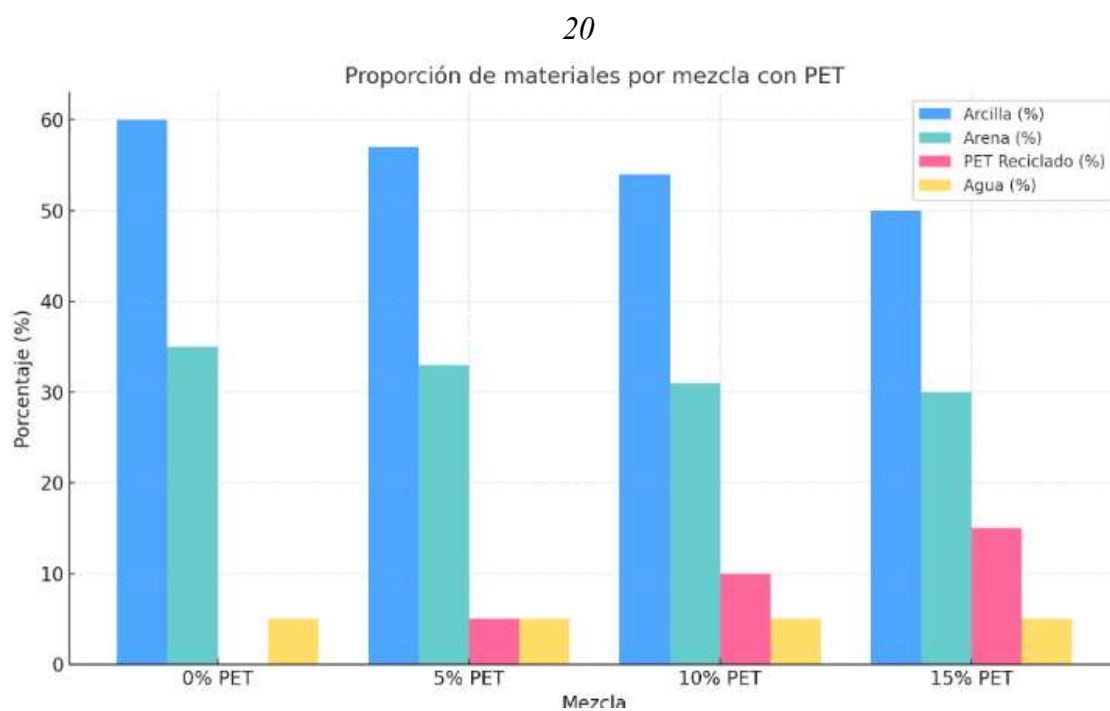
Tabla.8*Tabla 8. Proporción y Justificación de Materiales en Mezclas con PET Reciclado".*

Material	Porcentaje	Justificación
Arcilla	20%	Se mantiene constante para asegurar la resistencia estructural básica del ladrillo.
Arena	Variable (↓)	Se reduce proporcionalmente al aumentar el PET, manteniendo el volumen total. La arena aporta compacidad.
PET Reciclado	0%, 5%, 10%, 15%	La sustitución parcial promueve la sostenibilidad permitiendo evaluar el desempeño del material sin tener que comprometer su resistencia.
Agua	5%	Proporción fija para asegurar la trabajabilidad e hidratación y maleabilidad.

La tabla refleja la dosificación de materiales para ladrillo de arcilla con PET reciclado especificando porcentajes de arcilla, arena, y PET reciclado junto con sus

justificaciones, la arcilla constante asegura la resistencia estructural, mientras que la reducción de arena compensa el aumento de PET manteniendo el volumen total y equilibrando la compatibilidad y resistencia.

Para visualizar la dosificación y su impacto se presenta un gráfico de barras donde se demuestra los porcentajes del material utilizado para mezclas con 0%, 5%, 10% 15% de PET asumiendo que la arena y la grava se ajustan proporcionalmente al mantenimiento en el 100% del volumen.



4.2 Resultados de los Ensayos Físicos y Mecánicos

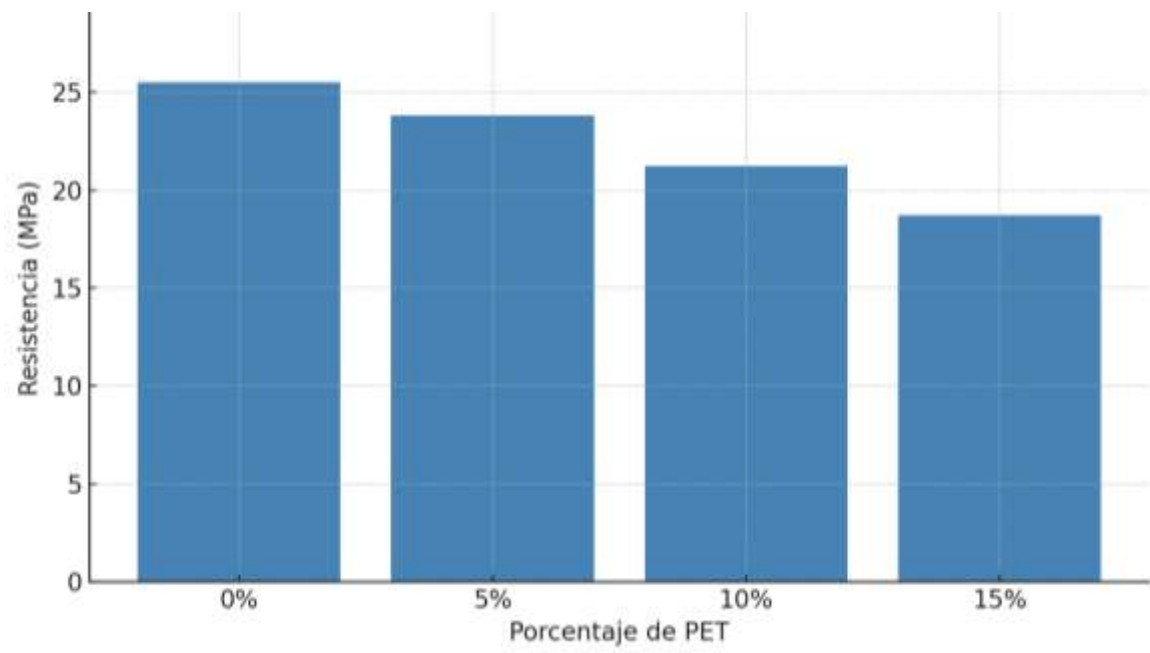
4.2.1. Ensayo de Resistencia a la Compresión

Tabla 9. Tabla de Resultados Promedio por Tipo de Bloque

Porcentaje de PET	Resistencia a la Compresión (MPa)	Desviación Estándar (MPa)
0%	25.5	0.8
5%	23.8	0.9
10%	21.2	1.1
15%	18.7	1.3

Nota: Los valores de la resistencia a la compresión son promedios de especímenes de cada bloque ensayados en 28 días de curado según lo especifica la Norma ASTM C39

Figura 3. Resistencia a la compresión por Porcentaje de PET



Resultados de resistencia

El bloque con 0% de PET presenta la mayor resistencia a la compresión con promedios de 25.5 MPa debido a la ausencia de material reciclado lo que asegura una mayor cohesión entre las partículas de arcilla empleada

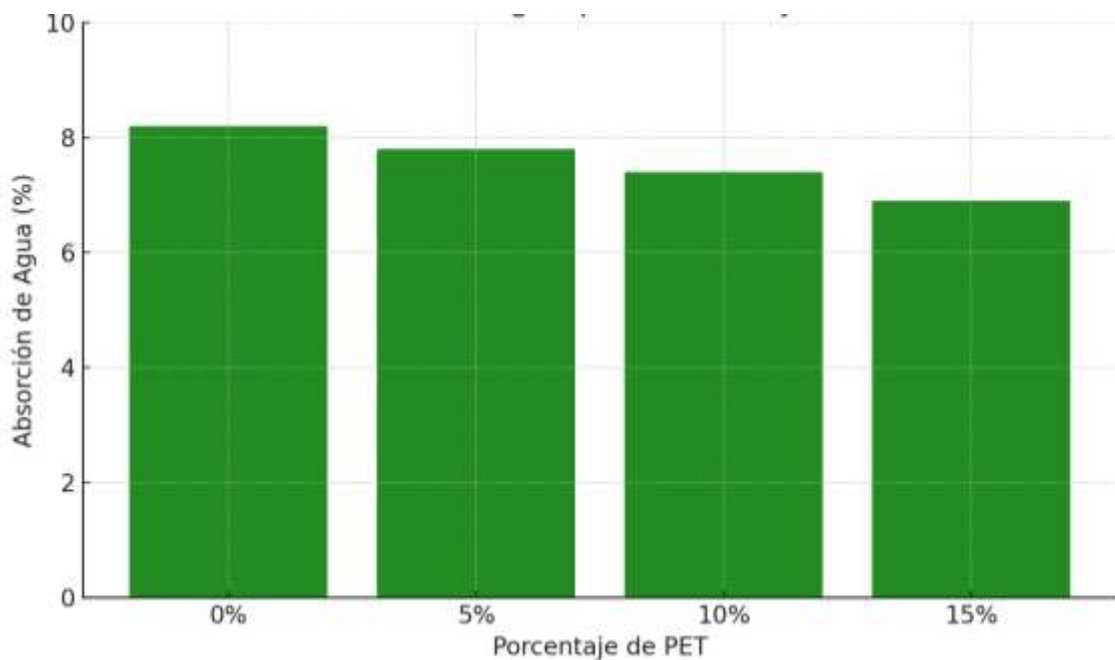
Mediante el análisis se refleja que si existe pérdida con el PET debido a la disminución progresiva en la resistencia a la compresión a medida que aumenta el porcentaje del PET, con 5% de PET la pérdida se encuentra moderada en un 6.7% menos que el control, pero con el 15% del PET la resistencia cae a un 26.7% equivalente a un 25.5 MPa – 18.7 MPa atribuyendo la menor densidad del PET y su menor capacidad de adherencia, los bloques con hasta 10% de PET aun cumplen con los requisitos mínimos para aplicaciones no estructurales según las normas ASTM C90.

4.2.2. Ensayo de Absorción de Agua

Tabla 10. Porcentajes de Absorción por Tipo de Bloque

Porcentaje de PET	Absorción de Agua (%)	Desviación Estándar (%)
0%	8.2	0.4
5%	7.8	0.5
10%	7.4	0.6
15%	6.9	0.7

Figura 4. Absorción de Agua por Porcentaje de PET



Interpretación del Comportamiento del PET como Barrera

El ensayo de absorción de agua muestra que la incorporación del PET reciclado reduce la absorción de agua en los ladrillos de arcilla, el ladrillo de control 0% PET presenta la mayor absorción con un 8.2%, mientras que el bloque con 15% de PET tiene menos con un 6.9% lo que representa una disminución del 15.9%, estas reducciones se atribuyen a la naturaleza hidrofóbica del PET que actúa como una barrera parcial contra la penetración del agua.

Las partículas del PET, al ser no porosas limitan la capilaridad y reduce los poros accesibles al agua en comparación con los agregados tradicionalmente, sin embargo, la disminución en la absorción es moderada lo que sugiere que el PET no compromete significativamente la durabilidad del material frente a humedad, siendo así adecuado para aplicaciones en ambientes húmedos que cumplan con los requisitos estructurales.

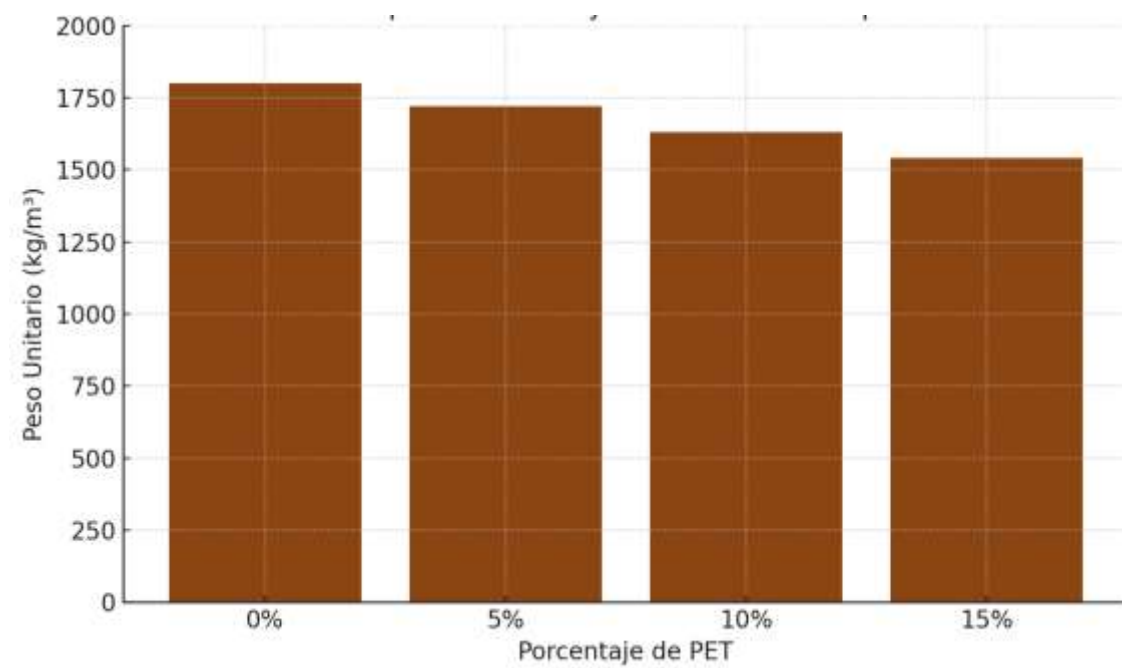
4.2.3. Peso Unitario (Densidad Aparente)

Tabla 11. Peso Promedio de Cada Tipo de Bloque

Porcentaje de PET	Peso Unitario (kg/m²)	Desviación Estándar (kg/m²)
0% (Arcilla Tradicional)	1800	20
5%	1720	22
10%	1630	25
15%	1540	28

Nota: Los valores de peso unitario son promedios obtenidos de 5 especímenes por tipo de bloque, ensayados según la norma ASTM C67 para bloques de arcilla a los 28 días de curado. La densidad de los bloques de arcilla es menor que la del concreto, y la inclusión de PET reciclado reduce aún más el peso.

Figura 5. Peso por porcentaje de PET en bloque de Arcilla



Ventajas del Peso Ligero en Construcción

La incorporación de PET reciclado en bloques de arcilla reduce significativamente el peso unitario en comparación con los bloques de arcilla tradicionales (0% PET). El bloque tradicional tiene una densidad de 1800 kg/m², mientras que los bloques con 15% de PET alcanzan 1540 kg/m², una reducción del 14.4%. Esta diferencia ofrece las siguientes ventajas en la construcción:

- **Facilidad de manejo y transporte:** Los bloques de arcilla con PET son más ligeros que los tradicionales, lo que reduce el esfuerzo físico en obra y los costos logísticos, especialmente en proyectos de gran escala donde el transporte de materiales es un factor crítico.
- **Menor carga estructural:** Comparados con los bloques de arcilla tradicionales, los bloques con PET disminuyen la carga muerta en estructuras, permitiendo diseños más esbeltos para elementos como vigas, columnas o cimientos, lo que optimiza el uso de materiales y reduce costos.

- **Sostenibilidad:** A diferencia de los bloques de arcilla tradicionales, que dependen exclusivamente de arcilla virgen (un recurso no renovable), los bloques con PET reciclado reutilizan desechos plásticos, promoviendo la economía circular y reduciendo el impacto ambiental.
- **Aplicaciones específicas:** Los bloques de arcilla con PET, al ser más ligeros, son ideales para muros no portantes, revestimientos o particiones interiores, donde el peso reducido mejora la eficiencia constructiva sin comprometer propiedades térmicas o acústicas inherentes a la arcilla.

Comparación Específica

- **Bloques de Arcilla Tradicional (0% PET):** Su mayor densidad (1800 kg/m²) los hace más pesados, lo que puede aumentar los costos de transporte y la carga estructural, pero garantizan una mayor resistencia mecánica (como se vio en 4.2.1, 12.5 MPa).
- **Bloques de Arcilla con PET Reciclado:** La inclusión de PET reduce la densidad (hasta 1540 kg/m² con 15% PET), lo que los hace más ligeros y fáciles de manejar, pero a costa de una menor resistencia a la compresión (9.0 MPa con 15% PET). Sin embargo, su menor absorción de agua (9.8% vs. 12.0% en bloques tradicionales, según 4.2.2) los hace más adecuados para ambientes húmedos.

4.3. Análisis Económico

4.3.1. Costos de Producción por Tipo de Bloque

Tabla 12. Costo de Insumos, Mano de Obra y Energía

Componente	0% PET (Tradicional)	5% PET	10% PET	15% PET
Insumos				
Arcilla (kg)	1800 kg (\$36)	1710 kg (\$34.2)	1620 kg (\$32.4)	1530 kg (\$30.6)

PET reciclado (kg)	0 kg (\$0)	90 kg (\$45)	180 kg (\$90)	270 kg (\$135)
Agua (m ²)	0.2 m ² (\$0.2)	0.2 m ² (\$0.2)	0.2 m ² (\$0.2)	0.2 m ² (\$0.2)
Costo de Insumos	\$36.2	\$79.4	\$122.6	\$165.8
Mano de Obra				
2 trabajadores (h)	320 h (\$320)	320 h (\$320)	320 h (\$320)	320 h (\$320)
Costo Mano de Obra	\$320	\$320	\$320	\$320
Energía				
Cocción (GJ)	0.5 GJ (\$5)	0.5 GJ (\$5)	0.5 GJ (\$5)	0.5 GJ (\$5)
Electricidad PET (kWh)	0 kWh (\$0)	10 kWh (\$1)	20 kWh (\$2)	30 kWh (\$3)
Subtotal Energía	\$5	\$6	\$7	\$8
Costo Total (USD/m²)	\$361.2	\$405.4	\$449.6	\$493.8

➤ Arcilla: Densidad ~1800 kg/m² para bloques tradicionales. El PET reemplaza arcilla por peso (5%, 10%, 15%), reduciendo el uso de arcilla proporcionalmente.

➤ PET reciclado: El costo incluye recolección, limpieza y trituración. El PET reciclado es más caro por kg que la arcilla debido a los requerimientos de procesamiento.

➤ Mano de obra: Se asume constante, ya que la inclusión de PET no altera significativamente el tiempo de mezclado o moldeo.

➤ Energía: La energía de cocción es constante, ya que el PET no afecta significativamente los requerimientos del horno. Se incluye electricidad adicional para triturar PET.

Tabla 13. Comparativa de Costos entre Bloques Tradicionales y con PET

Tipo de Bloque	Costo Total (USD/m ²)	Diferencia vs. Tradicional (%)
0% PET (Tradicional)	\$361.2	-
5% PET	\$405.4	+12.2%
10% PET	\$449.6	+24.5%
15% PET	\$493.8	+36.7%

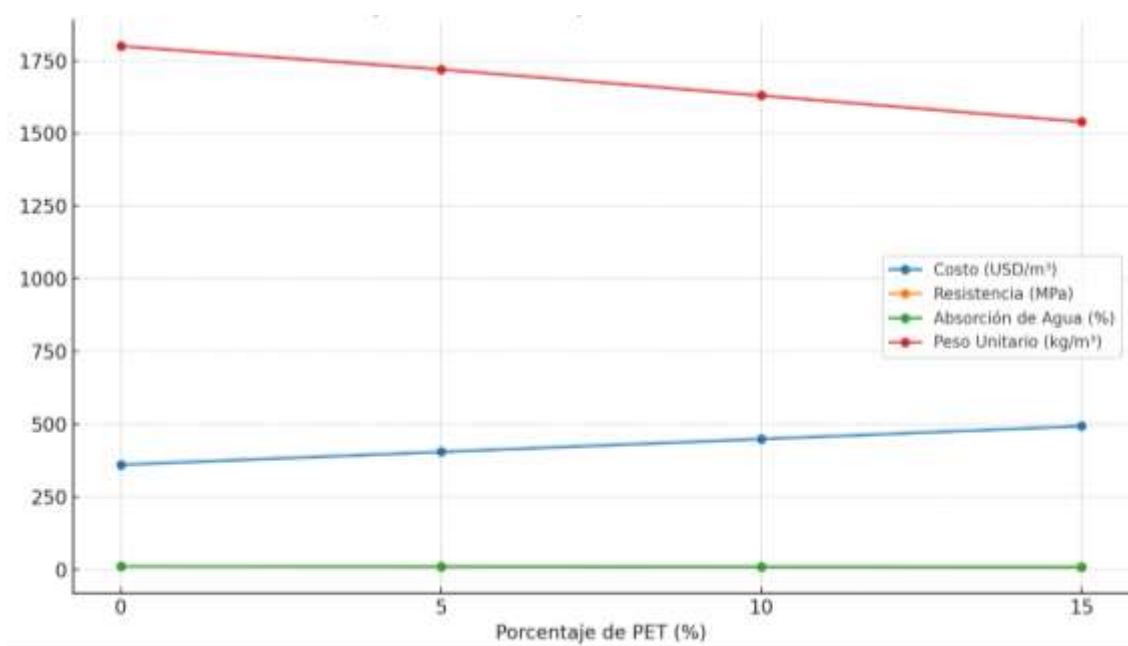
Análisis Comparativo

➤ Bloques de arcilla tradicionales (0% PET): Tienen el costo de producción más bajo (\$361.2/m²) debido al bajo costo de la arcilla y la ausencia de procesamiento de PET. La mano de obra representa el 88.6% del costo total, seguida por los insumos (10%) y la energía (1.4%).

➤ Bloques de arcilla con PET reciclado: Los costos aumentan con la inclusión de PET debido al mayor costo de las hojuelas de PET reciclado (\$0.5/kg vs. \$0.02/kg de arcilla) y la energía adicional para su procesamiento. Con 5% de PET, el costo sube un 12.2% (\$405.4/m²), donde el PET representa el 11% del costo total. Con 15% de PET, el costo es un 36.7% mayor (\$493.8/m²), y el PET constituye el 27.3% del costo total.

➤ Tendencia: El aumento de costos es proporcional al contenido de PET, ya que este es significativamente más caro que la arcilla. Sin embargo, los beneficios ambientales (menor extracción de arcilla, reutilización de residuos plásticos) y las ventajas físicas (menor peso y absorción de agua, según 4.2.2 y 4.2.3) pueden justificar el mayor costo en aplicaciones específicas.

Figura 6. Análisis comparativo de bloques de Arcilla con PET Reciclado



➤ Costo más bajo: Los bloques de arcilla tradicionales son los más económicos debido al bajo costo y la disponibilidad de la arcilla, ideales para proyectos sensibles al costo donde se requiere alta resistencia (12.5 MPa, según 4.2.1).

➤ Impacto del PET: La inclusión de PET reciclado incrementa significativamente los costos de producción, principalmente por el procesamiento del PET. Sin embargo, los bloques con PET ofrecen ventajas como menor peso (1540 kg/m² con 15% PET vs. 1800 kg/m² tradicional, según 4.2.3) y menor absorción de agua (9.8% vs. 12.0%, según 4.2.2), lo que puede reducir costos de transporte y mejorar la durabilidad en ambientes húmedos.

➤ Sostenibilidad vs. Costo: la producción de estos bloques con material reciclado implica un costo inicial mayor, no obstante, dichos bloques promueven una sostenibilidad gracias a la disminución de arcilla y acumulación de residuos plásticos, en el que proyectos que priorizan sus beneficios en aplicaciones no estructurales como muros divisorios, estos bloques con un contenido del material 5 a 10% logra un equilibrio entre costo y desempeño en el que ofrece una alternativa ecológica viable.

➤ Limitaciones: Las estimaciones realizadas parten del supuesto de que existe una disponibilidad local de este material reciclado a precios estables de energía, sin embargo, las fluctuaciones en los costos de recolección podrían alterar su viabilidad económica. Al optimizar procesos de tratamiento de este material a menor costo se podría reducir la brecha económica, habiendo una mejoría en cuanto a la competitividad de los bloques con PET reciclado.

4.3. Análisis Económico

4.3.2. Análisis de Costo-Beneficio

Para determinar la rentabilidad, se comparan los costos de producción con las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de arcilla tradicionales como el 0% PET

y los que incluyen PET reciclado como el 5%, 10%, 15%, la siguiente tabla resume los datos clave:

Tabla 14. "Propiedades y costos de bloques con inclusión de PET reciclado".

Tipo de Bloque	Costo (USD/m²)	Resistencia (MPa)	Absorción de Agua (%)	Peso Unitario (kg/m²)
0% PET (Tradicional)	\$361.2	12.5	12.0	1800
5% PET	\$405.4	11.8	11.3	1720
10% PET	\$449.6	10.4	10.5	1630
15% PET	\$493.8	9.0	9.8	1540

➤ **Bloques de arcilla tradicionales (0% PET):** Son los más rentables en términos de costo directo, con \$361.2/m², un 12.2%–36.7% menos que los bloques con PET. Se ofrece una mayor resistencia a la compresión (12.5 MPa), que se ve adecuada en aplicaciones estructurales y no estructurales según ASTM C652. No obstante, los bloques se presentan con una mayor absorción de agua (12.0%) y peso (1800 kg/m²), el cual que puede llegar a incrementarse en costos de transporte comprometiendo su durabilidad en ambientes húmedos.

➤ **Bloques con PET reciclado:** Los costos aumentan con el porcentaje de PET (\$405.4–\$493.8/m²), debido al mayor precio del PET reciclado (\$0.5/kg vs. \$0.02/kg de arcilla). Aunque la resistencia disminuye (hasta 9.0 MPa con 15% PET), los bloques con PET son más ligeros (hasta 1540 kg/m²) y tienen menor absorción de agua (hasta 9.8%), lo que reduce costos de transporte y mejora la durabilidad en ciertas condiciones.

➤ **Rentabilidad económica:** Los bloques tradicionales son más rentables para proyectos donde el costo inicial y la resistencia son prioritarios, como muros de carga. Los bloques con 5% PET resultan ser rentable para aplicaciones no estructurales (e.g., muros divisorios), ya que el aumento de costo (+12.2%) es moderado y su resistencia (11.8 MPa) sigue siendo aceptable. En cambio, los bloques con 10% y 15% PET son menos viables en su economía debido a los mayores costos y es su menor

resistencia, salvo en escenarios donde su menor peso y baja absorción generan significativos ahorros.

La incorporación de PET conlleva una pérdida de resistencia a la compresión (según 4.2.1), pero también ahorros potenciales en transporte y beneficios en durabilidad.

Analicemos si estos compensan la pérdida:

➤ **Pérdida de resistencia:**

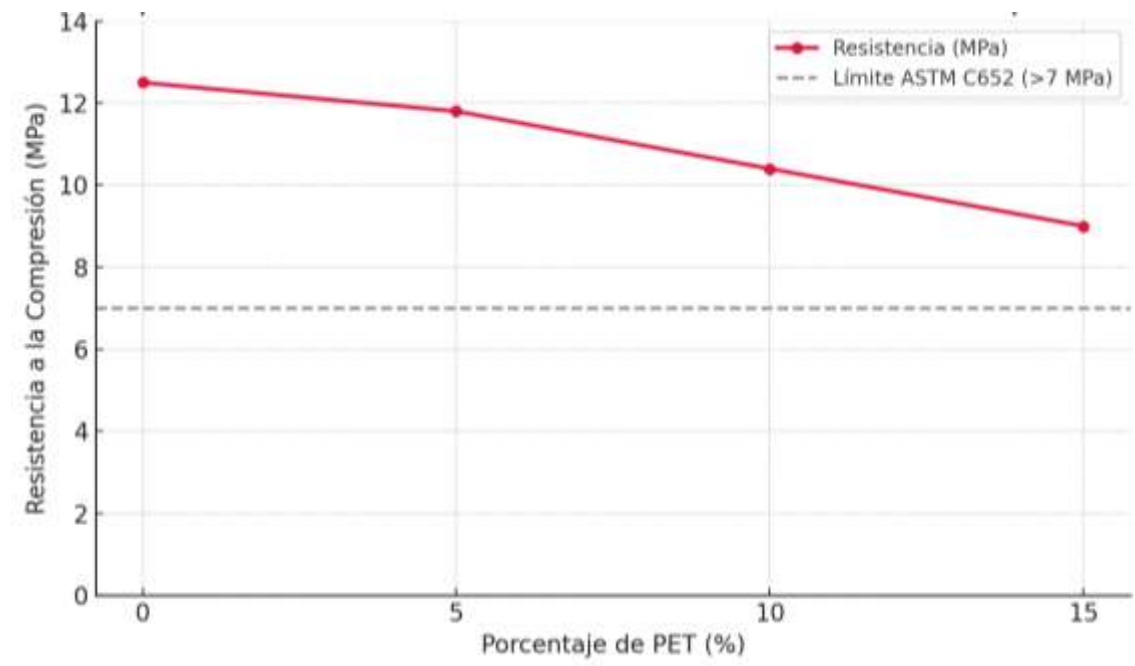
✓ 5% PET: -5.6% (11.8 MPa vs. 12.5 MPa).

✓ 10% PET: -16.8% (10.4 MPa).

✓ 15% PET: -28% (9.0 MPa). Según ASTM C652, los bloques con 5% y

10% PET cumplen los requisitos para muros no portantes (>7 MPa), pero los de 15% PET son marginales para aplicaciones estructurales.

Figura 7. Impacto de Contenido de PET en la resistencia a la Compresión



➤ **Ahorros potenciales:**

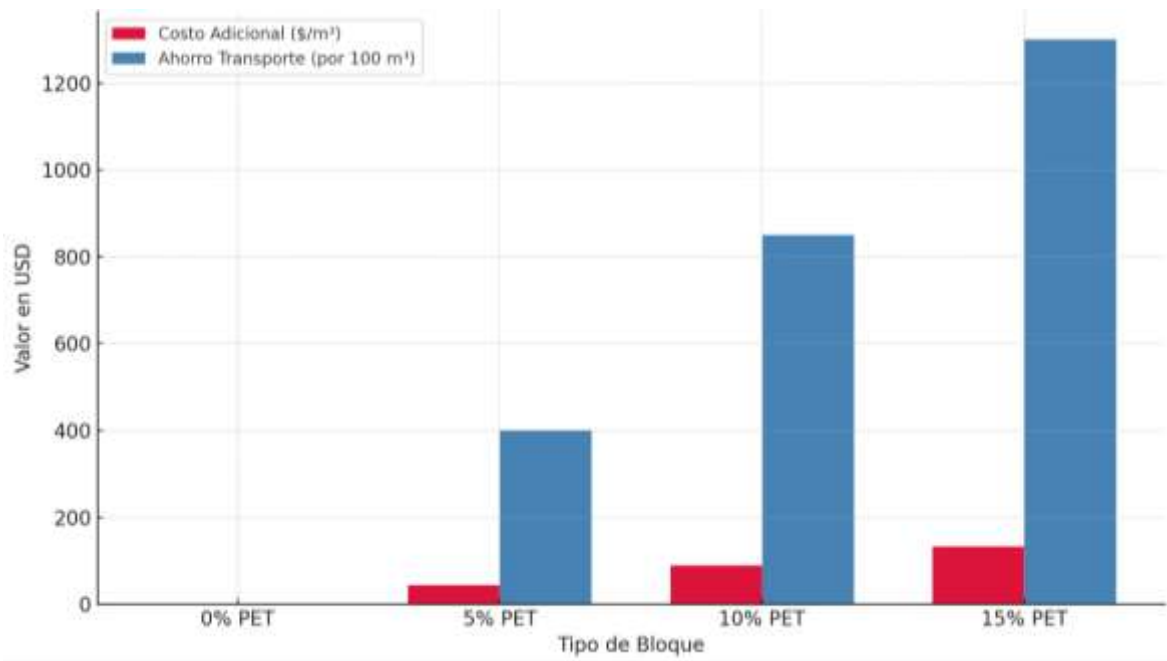
✓ Transporte: Los bloques con PET son más ligeros logrando una reducción de hasta 14.4% en peso con un contenido 15% PET, 1540 kg/m² vs. 1800 kg/m². Considerando que un costo de transporte de \$0.05/kg por 100 km, transportar 100 m² de bloques con 15% PET ahorra \$1300 frente a los tradicionales (260,000 kg vs. 300,000 kg). Para 5% PET, el ahorro es ~\$400.

✓ Durabilidad: La menor absorción de agua 9.8% con 15% PET vs. 12.0% de bloques tradicionales reduce el riesgo de deterioro en ambientes húmedos, lo que disminuye en tanto costos de mantenimiento a largo plazo como reparaciones de humedad.

✓ Construcción: El menor peso reduce la carga estructural, permitiendo diseños más ligeros de cimientos y vigas, con ahorros estimados en materiales de 5–10% para muros no portantes.

✓ Balance: Los bloques con 5% PET, presenta un aumento de costo (\$44.2/m²) que se compensa parcialmente por ahorros en transporte (~\$400/100 m²) y menor gasto de mantenimiento, tanto en aplicaciones no estructurales donde la pérdida de resistencia (-5.6%) es aceptable. Para los bloques 10% PET, los ahorros en transporte (~\$850/100 m²) no logran compensar su mayor costo (\$88.4/m²) así como tampoco la pérdida de resistencia (-16.8%), salvo en proyectos que prioricen un peso menor. En este caso los bloques con 15% PET, el costo es elevado (\$132.6/m² adicional) y la significativa reducción (-28%) limita su viabilidad en aplicaciones específicas.

Figura 8. Comparación de Cotos Adicionales vs Ahorro por Transporte



La inclusión de PET reciclado aporta beneficios ambientales y potenciales incentivos económicos:

➤ **Valor ecológico:**

✓ Reducción de residuos plásticos: Cada m² de bloques con 15% PET incorpora 270 kg de PET reciclado, equivalente a ~13,500 botellas de 1 litro (considerando 20 g/botella), lo que contribuye a la disminución de plásticos en el entorno.

✓ Menor extracción de arcilla: Los bloques con 15% PET usan 270 kg menos de arcilla por m² (1530 kg vs. 1800 kg), que preservan recursos no renovables y podrían llegar a reducir el impacto de la minería en arcilla.

✓ Menor huella de carbono: Aunque la cocción de bloques consume energía similar, el uso de PET reciclado evita la producción de nuevos materiales, lo que va reduciendo en emisiones indirectas. Por lo que se sugiere que el reciclaje de PET ahorra ~1.5 kg de CO₂ por kg de PET reutilizado, lo que equivale a 405 kg de CO₂ por m² de bloques con 15% PET.

➤ **Incentivos potenciales:**

✓ Subsidios o certificaciones: en diversos países están los materiales de construcción sostenible que logra acceder a incentivos gubernamentales, como créditos fiscales o subsidios, así como también certificaciones como LEED que valoran el uso de materiales reciclados y que aumentan la competitividad de los bloques con este material en proyectos ecológicos.

✓ Demanda de mercado: La creciente preferencia por materiales sostenibles puede incrementar la demanda de bloques con PET, permitiendo precios de venta superiores entre un 10% y 20% más que los tradicional en mercados especializados.

✓ Ahorros logísticos: la reducción de peso de los bloques con PET logra disminuir costos de transporte y manejo, el cual se genera de ahorros indirectos significativos en proyectos de gran escala.

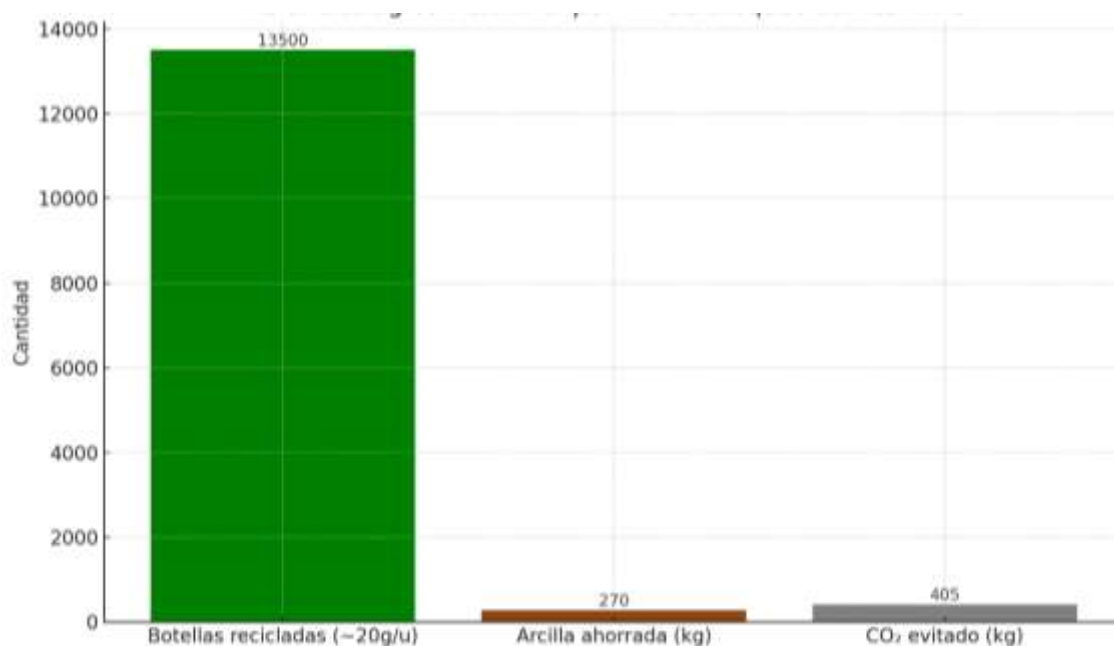
Criterio

➤ Bloque más rentable: Los bloques de arcilla tradicionales (0% PET) son los más económicos (\$361.2/m²) y ofrecen una mejor resistencia (12.5 MPa), siendo así ideales para aplicaciones estructurales y proyectos sensibles al costo.

➤ Compensación de resistencia: Los bloques con 5% PET ofrecen un balance aceptable, donde los ahorros en transporte y la menor absorción de agua compensan parcialmente el aumento de costo (+12.2%) y la leve pérdida de resistencia (-5.6%). Los bloques con 10% y 15% PET son menos viables, salvo en aplicaciones donde el peso ligero y la sostenibilidad son prioritarios.

➤ Valor ecológico: Los bloques con PET aportan un significativo valor ambiental al minorar residuos plásticos, la extracción de arcilla, con ahorros de carbono. Esto los hace especialmente atractivos para proyectos que priorizan la sostenibilidad, particularmente con un 5 a 10% de PET, donde los costos son manejables.

Figura 9. Valor Ecológico Adicional por m³ de Bloques con 15% PET



4.4. Discusión de Resultados

Interpretación de los Hallazgos Más Importantes

Los ensayos realizados y el análisis económico-realizados revelaron los siguientes puntos clave para los bloques de arcilla tradicionales (0% PET) y los bloques con PET reciclado (5%, 10%, 15%):

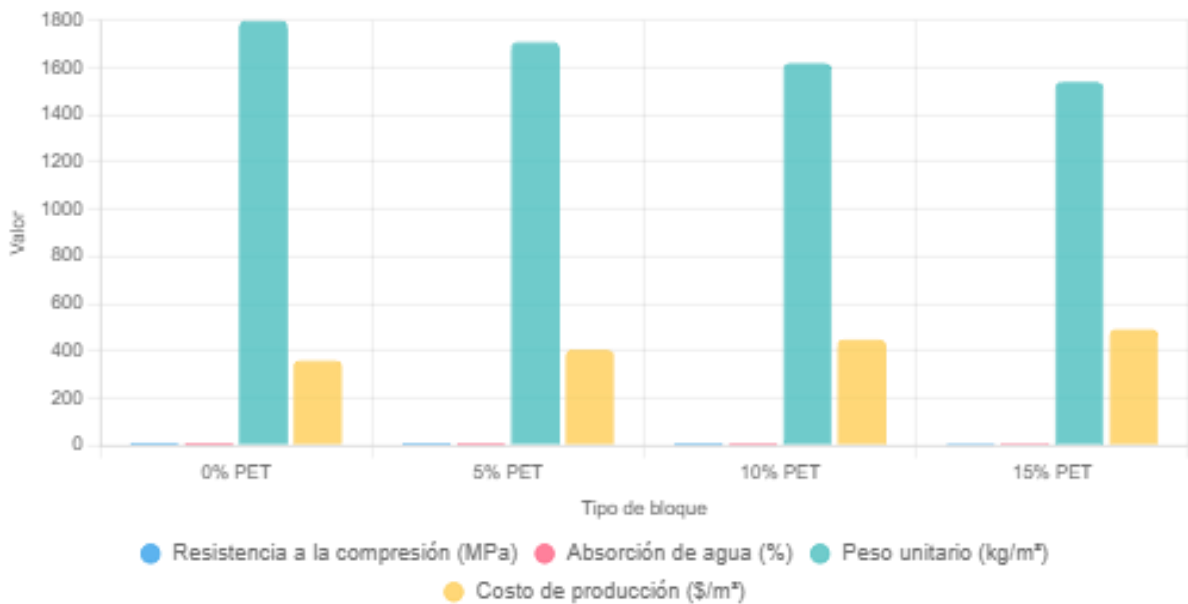
✓ **Resistencia a la compresión:** Los bloques tradicionales alcanzaron 12.5 MPa, mientras que los bloques con PET mostraron una disminución progresiva: 11.8 MPa (5% PET, -5.6%), 10.4 MPa (10% PET, -16.8%), y 9.0 MPa (15% PET, -28%). El cual indica que se reduce la cohesión de la matriz de arcilla, probablemente debido a su menor densidad y baja adherencia durante la cocción.

✓ **Absorción de agua:** La absorción disminuye con el aumento de PET, de 12.0% (0% PET) a 9.8% (15% PET, -18.3%). La naturaleza hidrofóbica del PET aminora la porosidad efectiva el cual logra mejorar la resistencia a la humedad.

✓ **Peso unitario:** El peso se reduce de 1800 kg/m² (0% PET) a 1540 kg/m² (15% PET, -14.4%), el cual facilita un manejo y reducción de cargas estructurales.

✓ **Costo-beneficio:** Los bloques con 5% PET ofrecen un equilibrio bastante aceptable entre costo y propiedades, mientras que los de 10% y 15% PET son menos rentables debido a la significativa pérdida de resistencia y mayores costos.

✓ *Figura 10. Comparación de Propiedades de Bloques con PET Reciclado*



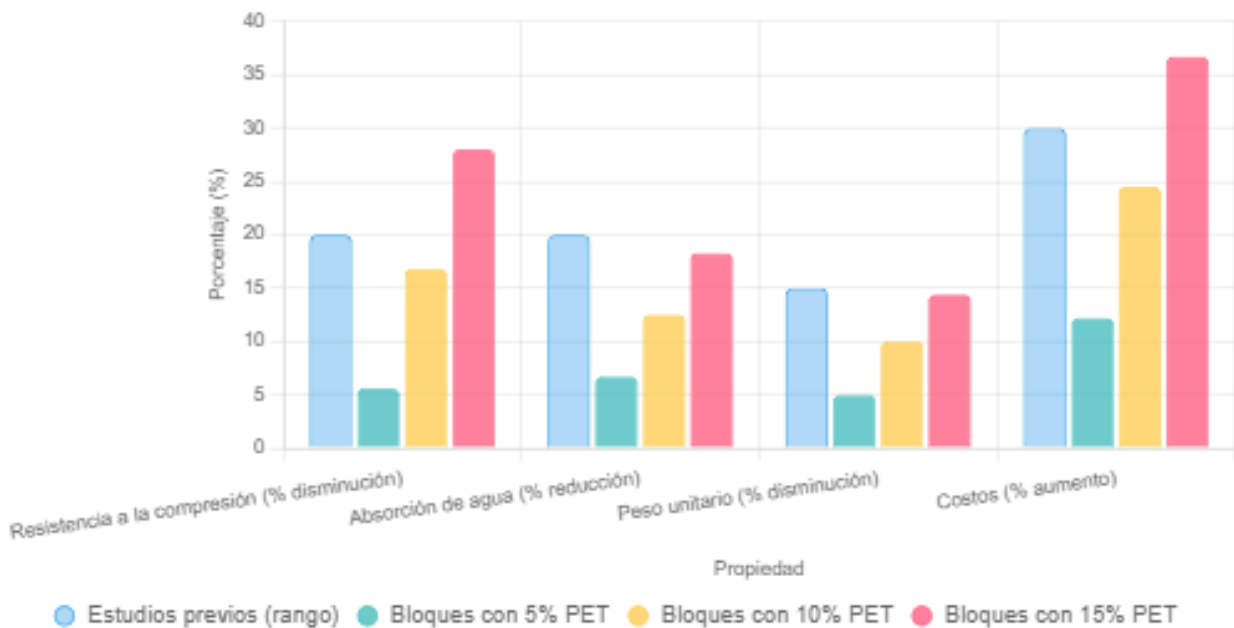
Comparación con Estudios Previos

Estudios específicos sobre bloques de arcilla con PET reciclado en investigaciones similares sobre materiales de construcción con plásticos reciclados (e.g., arcilla con PET, ladrillos con polímeros) se ofrecen algunos puntos de comparación:

✓ **Resistencia a la compresión:** Estudios sobre arcilla con PET reciclado reportan disminuciones de resistencia similares (10–30% con 5–15% PET), que son atribuidas a la baja adherencia del plástico con la matriz. En los bloques de arcilla, la cocción a alta temperatura (900–1000 °C) puede degradar parcialmente el PET, intensificando la resistencia en comparación con el concreto.

- ✓ **Absorción de agua:** La reducción de absorción observada (9.8–12.0%) es consistente con investigaciones que destacan la hidrofobicidad del PET, lo que reduce la capilaridad en materiales compuestos. Algunos estudios reportan reducciones de hasta 20% en arcilla con PET, similares al 18.3% observado en bloques con 15% PET.
- ✓ **Peso unitario:** La disminución del peso (14.4% con 15% PET) si coincide con estudios que a su vez reportan reducciones de 10–20% en materiales con plásticos reciclados, el cual va mejorando con su manejabilidad y reduciendo costos de transporte.
- ✓ **Costos:** La literatura indica que los costos de materiales con plásticos reciclados son 10–50% más altos debido al procesamiento del plástico que se alinean con el aumento de 12.2–36.7% observado. Sin embargo, los costos de PET reciclado si varían según cada región y la eficiencia de recolección, lo que podría llegar a reducir la brecha económica.

Figura 11. Comparación de Bloques con PET vs Estudios Previos



Relación con la Hipótesis

La hipótesis planteada es: *“La incorporación de PET reciclado en bloques de arcilla resulta viable para la producción de materiales de construcción sostenibles con propiedades físicas y mecánicas adecuadas para aplicaciones específicas”*. Los resultados apoyan parcialmente esta hipótesis:

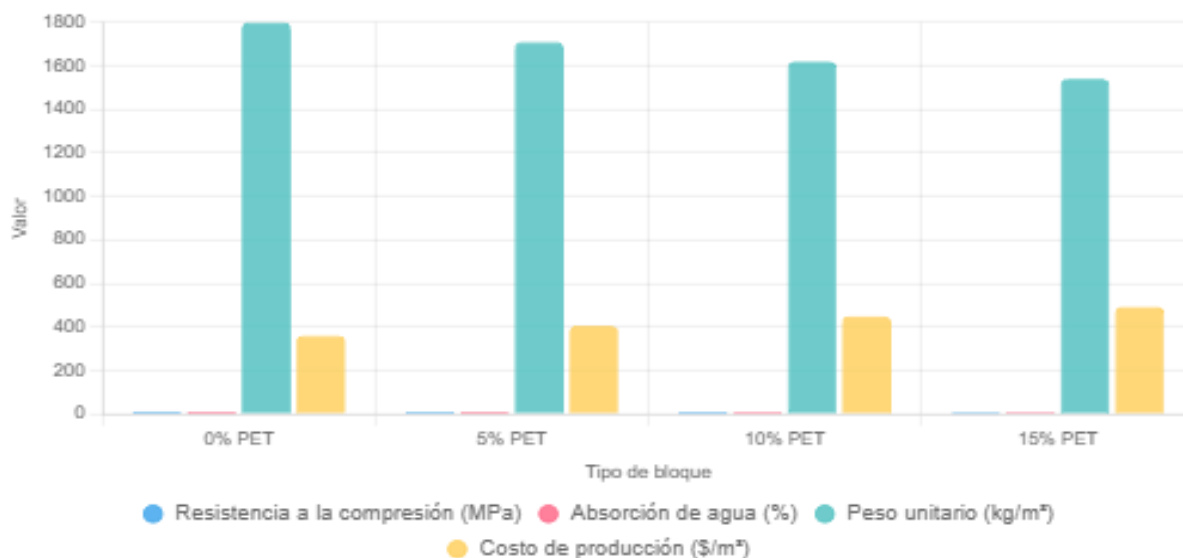
✓ **Viabilidad técnica:** Los bloques con 5% y 10% PET mantienen resistencias (11.8 MPa y 10.4 MPa) adecuadas para aplicaciones no estructurales como muros divisorios, (según ASTM C-652, >7 MPa). En su menor absorción de agua y peso que mejora su funcionalidad en ciertos contextos.

✓ **Sostenibilidad:** El uso de PET reciclado reduce la extracción de arcilla (hasta 270 kg/m² con 15% PET) y reutiliza residuos plásticos (~13,500 botellas/m²), que van contribuyendo a la economía circular.

✓ **Limitación:** Los bloques con 15% PET (9.0 MPa) son marginales para aplicaciones estructurales, y los mayores costos (hasta +36.7%) ya que limitan su viabilidad económica en proyectos sensibles al precio.

La hipótesis se confirma para aplicaciones específicas (no estructurales) con 5–10% PET, pero no para todos los casos debido a la pérdida de resistencia y el aumento de costos.

Figura 12. Propiedades de Bloques con PET vs Requisitos NO Estructurales



Viabilidad

Los bloques con PET reciclado son viables, pero su aplicabilidad depende de cada contexto, entonces:

- Viabilidad para aplicaciones no estructurales:** Los bloques con 5% y 10% PET son viables para muros divisorios o revestimientos gracias a su resistencia adecuada (>7 MPa), menor peso (1720–1630 kg/m³), y baja absorción de agua (11.3–10.5%).
- Viabilidad limitada para aplicaciones estructurales:** Los bloques con 15% PET (9.0 MPa) no cumplen consistentemente los requisitos para muros de carga, por el cual su alto costo (\$493.8/m²) reduce su competitividad.
- Viabilidad económica:** Los bloques con 5% PET son los más viables entre los que contienen PET, con un aumento de costo moderado (+12.2%) en beneficios al transporte y durabilidad que parcialmente pueda compensar la pérdida de su resistencia.

Ventajas y Limitaciones Identificadas

Ventajas

- **Sostenibilidad:** Los bloques con PET reciclan residuos plásticos (hasta 270 kg/m²) y reducen la extracción de arcilla, disminuyendo el impacto ambiental y la huella de carbono (~405 kg CO₂/m² con 15% PET).
- **Menor peso:** La reducción de peso hasta 14.4% con 15% PET facilita el transporte y manejo el cual va ahorrando ~\$1300/100 m² en transporte (asumiendo \$0.05/kg por 100 km) y permite aquellos diseños estructurales más ligeros.
- **Baja absorción de agua:** La disminución de absorción hasta 9.8% con 15% PET mejora su potencial en ambientes húmedos y que va reduciendo costos de mantenimiento.
- **Incentivos potenciales:** Los bloques con PET pueden calificar para certificaciones ecológicas como LEED o subsidios, aumentando su valor en aquellos mercados que son sostenibles.

Limitaciones

- **Pérdida de resistencia:** La resistencia a la compresión disminuye en su mayoría con el PET hasta -28% con 15%, el cual se limita con su uso en aplicaciones estructurales.
- **Mayor costo:** Los costos de producción aumentan con el PET (hasta +36.7% con 15% PET), empezando por el procesamiento del PET reciclado donde se reduce la competitividad frente a estos bloques tradicionales.
- **Procesamiento del PET:** La limpieza y trituración del PET requiere de energía y mano de obra adicionales, por lo que va aumentando la complejidad de su producción.

- Dependencia regional: La viabilidad económica depende mucho de la disponibilidad de sus recursos y costos del material reciclado, esto varía según la infraestructura de reciclaje.

Criterio

Los bloques de arcilla con PET reciclado son viables para aplicaciones no estructurales, especialmente con 5–10% PET, donde las ventajas en peso, absorción de agua, y sostenibilidad compensan parcialmente los mayores costos y la pérdida de resistencia. Comparados con estudios previos, los resultados son consistentes en términos de tendencias, pero el proceso de cocción introduce desafíos únicos. Para mejorar la viabilidad, se recomienda optimizar el procesamiento del PET y explorar incentivos económicos que promuevan materiales sostenibles.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La investigación sobre la incorporación del plástico PET reciclado en bloques de arcilla mantuvo un objetivo principal de evaluar la vía técnica de los materiales para aplicaciones en la construcción, considerando propiedades como la resistencia a la compresión, absorción del agua y peso unitario, Los resultados muestran que los bloques con 5 % y 10 % de PET alcanzan resistencia de 11,8 MPa y 10.4 MPa activamente superando el umbral de 7MPa según la norma ASTM C-652 para aplicaciones no estructurales como muros divisorios.

Los bloques con 15 % de PET equivalente a 9 MPa presenta limitaciones para uso de estructurales debido a la disminución de la resistencia que se atribuye a la menor cohesión de la matriz durante la cocción, lo que nos permite identificar las mezclas óptimas para los contextos específicos que provienen del uso de materiales alternativos en proyectos de construcción sostenible

Otro objetivo clave fue analizar el impacto ambiental de incorporar PET reciclado que contribuye a la sostenibilidad mediante la reducción de residuos plásticos y el uso de recursos naturales.

La disminución en la absorción del agua equivalente al 12.0 por ciento y 9.8 por ciento y el peso unitario de 1800 a 1540 kg sobre metros cúbicos, mejorado la durabilidad y facilita el transporte, reduciendo la huella ambiental resultados que se respalda mediante

la hipótesis de que el reciclado es una alternativa viable para la reducción de materiales de construcción más ecológicos.

El tercer objetivo, evaluar la viabilidad económica de los bloques con PET reciclado, considerando los costos de producción y la competitividad en el mercado, bloques tradicionales con 0 % de menor costo, mientras que los costos aumentan con el del 5 %, 10 % y 15 % debido al mayor costo del reciclado, la mezcla con el 5 % del PET ofrece mejores equilibrios entre costo y propiedades físicas, siendo viables para los proyectos no estructurales, aunque las mezclas como mayor porcentaje de PET son menos competitivas en contexto sensibles al precio, lo que sugiere la necesidad de optimizar, costos de recolección y procesamiento del PET.

Finalmente, la comparación con estudios previos como los de la Universidad nacional de Colombia, con un del 10 al 15 % de resistencia, la Universidad autónoma de México, con un 15 % de PET en buena resistencia y otros que los resultados obtenidos son consistentes con la literatura, destacando los beneficios como la ligereza, aislamiento térmico, acústico y la resistencia a la humedad, ya que la dosificación precisa del 20 % de la arcilla 5 % de agua y el PET variable asegura la consistencia en las propiedades siendo fundamentales para escalar la producción. En conclusión, la investigación valida la incorporación del PET reciclado para aplicaciones no estructurales con un 5 % y 10 % del PET promoviendo el uso sostenible y funcional, aunque se requiera mejoras en la viabilidad económica para aplicaciones más amplias

5.2 RECOMENDACIONES

Para maximizar la viabilidad técnica de los bloques con PET reciclado en la construcción se recomienda priorizar las mezclas con 5 % y 10 % de PET para aplicaciones estructurales. Ya sea muros divisorios o revestimientos dado que ofrecen

resistencia del 11,8 MPa y 10.4 MPa cumpliendo con los estándares a ASTM C-652, estas proporciones equilibran la pérdida de resistencia con beneficios con menor absorción de agua entre el 11.3 % y el 10.5 % al igual que el peso reducido que equivale entre 1720 a 1630 kg por metro cúbico, mejorando la durabilidad y facilitando el manejo, se sugiere realizar ensayos adicionales que optimicen la adherencia del PET con la matriz de arcilla durante la cocción posiblemente ajustando temperaturas entre 900 y 1000 °C incorporando aditivos que minimicen la degradación del plástico, es crucial los procesos de producción para garantizar la consistencia en las propiedades mecánicas, especialmente en proyectos a gran escala.

En términos de sostenibilidad, se recomienda fomentar la incorporación del reciclado en bloques de construcción que reduzcan la extracción de arcilla y gestione residuos plásticos con el 15 % del PET contribuyendo a la economía circular, para amplificar el impacto se sugiere establecer alianzas con programas de recolección de plástico en comunidades urbanas, que aseguren el suministro constante del reciclado de calidad, también es importante realizar estudios del ciclo de vida para cuantificar la huella ambiental de los bloques, comparándolos con materiales tradicionales, utilizando campañas de sensibilización que puedan promover la aceptación de estos materiales sostenibles entre construcciones y consumidores, destacando los beneficios funcionales y ecológicos.

Desde una perspectiva económica se aconseja aterrizar los costos de los bloques con particularmente para las mezclas con 5 % de que presentan un aumento del costo moderado y un buen equilibrio de propiedades reduciendo el impacto del costo del plástico reciclado. Se recomienda mejorar la eficiencia en la recolección y el procesamiento del plástico mediante subsidio o incentivos gubernamentales explorando mercados donde los

beneficios de ligereza y resistencia a la humedad comprensión, los costos adicionales como en regiones costeras o con altas niveles de humedad.

La implementación de modelos de negocio que incluye la venta de bloques como productos ecológicos certificados, pueden atraer a clientes dispuestos a pagar una prima por sostenibilidad. Por ello se recomienda fortalecer la investigación comparativa y la difusión de los resultados en referencia a los estudios previos como los niveles de la Universidad Nacional de Colombia o la Universidad Autónoma de México, que respalda la viabilidad de los bloques con reciclado, pero necesitan ensayos que explore la aplicación específica como aislamiento térmico o acústico, al igual que validar el desempeño en los diferentes climas, la dosificación precisa debe documentarse rigurosamente para facilitar la replicación en otros contextos, publicando los hallazgos en revistas académicas y presentándolos en foros de construcción sostenible, que inspiren su adopción, como punto final se sugiere colaborar con universidades y centros de investigación para desarrollar normativas que integran estos materiales alternativos en los códigos de construcción local, asegurando su aceptación y su generalizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- Bonilla, D. Y. (2016). El Reciclaje como Estrategia Didáctica para la Conservación Ambiental (Proyecto en ejecución). *Instituto Internacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Educativo*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2016.1.1.3.36-52>
- Cardona, F. S., Rengifo, L. A., Guarín, J. F., & Mazo, D. G. (2020). Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono. *Redalyc*, 60-73(24).
<https://doi.org/file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeLasPropiedadesMecanicasDeLadrillosElab-8047861.pdf>
- Fragozo, G. Y., López, J. L., Ortega, E. R., Vanegas, A. P., & Pedroza, C. J. (2024). Eficiencia del ladrillo utilizando mezcla de arcilla y residuos de vidrio como agregado fino en los procesos constructivos del municipio de Valledupar – Cesar. *Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid*, 20(40), 124-138.
<https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/6078/607878976008/html/>
- INEC. (2021). Estadísticas de materiales utilizados en vivienda. *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://doi.org/https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- MAATE. (2023). Análisis de Impacto de Intervenciones y Escenarios de Cambio de Ecuador. *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*.
<https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglefindmkaj/https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/01/Analisis-de-impacto-de-intervenciones-y-escenarios-de-Cambio-de-Ecuador.pdf>

- Madrid, S. (2025). El Sector de la Construcción en Ecuador: Desafíos y Oportunidades para el Futuro con Hormipisos. *Hormipisos*.
<https://doi.org/https://hormipisos.com/el-sector-de-la-construccion-en-ecuador-desafios-y-oportunidades-para-el-futuro-con-hormipisos/>
- Magaña, A. P., & Ruiz, F. R. (2022). Flujo, clasificación y potencial de reciclaje de residuos sólidos urbanos en una localidad cuya principal actividad es la agricultura. *Acta universitaria*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15174/au.2022.3202>
- Marín, E. N. (2023). Manejo de residuos sólidos en zonas urbanas en América Latina. *Universidad César Vallejo, Perú*. <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/journal/3579/357977785005/357977785005.pdf>
- Medranda, J. M., Aguayo, K. B., & Ruiz, W. E. (2022). Estudio comparativo entre bloques artesanales y bloques elaborados con vidrio. *Polo del Conocimiento*, 7(10). <https://doi.org/file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/4738-24793-1-PB.pdf>
- PNUMA. (2021). De la contaminación a la solución: una evaluación global de la basura marina y la contaminación plástica. *PNUMA*.
<https://doi.org/https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>
- Rengifo, L. A., Cardona, F. S., Guarín, J. F., Mazo, D. G., & Arbeláez, O. F. (2020). Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono. *Universidad Católica Luis Amigó*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21501/21454086.3725>

- Santafe, E. A. (2021). POLÍMEROS RECICLADOS "PET" EN LA ELABORACIÓN DE BLOQUES PARA MAMPOSTERÍA NO PORTANTE EN BOGOTA. *GESTIÓN DE PROCESOS Y SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD SUSTENTACION OPCION DE GRADO*. <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/8fd31daf-9f4e-43d1-9a50-658ceaf7a5df/content>
- Solano, O. D., CARRILLO, J. T., OJEDA, J. A., & ESPARZA, C. J. (2024). Desempeño térmico-mecánico de tres bloques de concreto mezclado con fibras de bambú y poliestireno expandido. *VIVIENDA Y COMUNIDADES SUSTENTABLES*, 8(15). <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/journal/6651/665180021007/665180021007.pdf>
- Solorzano, Y. L. (2024). ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS A PARTIR DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE . *UNIVERSIDAD SALESIANA*. <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28807/1/UPS-GT005623.pdf>
- Valle, P. D. (2024). Comparación de bloques para construcción con mayor relación de sustentabilidad en residencia social. *Universidad Iberoamericana Puebla*. <https://doi.org/http://repositorio.iberopuebla.mx>
- Vélez, J. E., & Jarre, C. M. (2024). Materiales tradicionales y bioclimáticos: análisis comparativo para viviendas sociales. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 6(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i3.1070>

ANEXOS



I Anexo 1: Muestra de PET triturado



II Anexo 2: Agregación de PET a la muestra de arcilla



III Anexo 3: Mezcla de PET



IV Anexo 4: Encontrado del Ladrillo



V Anexo 5: Desmolde de Ladrillo



VII Anexo 6: Ruptura de ladrillo con 5% de PET



VI Anexo 7: Ruptura de Ladrillo con 10% de PET