

Integración de materiales reciclados en la vivienda social: una evaluación técnica de ladrillos ecológicos para la optimización de las envolventes

Luis Enrique Chávez Rubio (*)

María José Mayorga Vargas (**)

Resumen: La vivienda de interés social (VIS) en los Andes ecuatorianos enfrenta un triple desafío: un déficit habitacional persistente, el discomfort térmico crónico y el alto impacto ambiental de los sistemas constructivos tradicionales. Este estudio evalúa la viabilidad técnica de ladrillos ecológicos fabricados con residuos de PET, aserrín y viruta de wet blue como una alternativa para optimizar la envolvente arquitectónica. Mediante un flujo de interoperabilidad BIM y simulaciones dinámicas en DesignBuilder aplicadas a un prototipo en Quito, se contrastó el desempeño de estas materialidades recicladas frente al bloque de hormigón convencional. Los resultados revelan que los ladrillos ecológicos no solo son ambientalmente responsables, sino técnicamente superiores, logrando reducir sistemáticamente las pérdidas de calor y elevar la temperatura interior promedio, con el aserrín como el componente más eficiente. Se concluye que revalorizar estos residuos es una solución táctica y madura para mejorar la habitabilidad pasiva y reducir la vulnerabilidad energética en la región Sierra.

Palabras clave: economía circular – envolvente arquitectónica – ladrillos ecológicos – simulación energética – vivienda de interés social

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 38 y 37]

(*) (**) Ver CV de Luis Enrique Chávez Rubio y María José Mayorga Vargas en página 38

Introducción

La vivienda de interés social (VIS) representa un desafío para los países en desarrollo, donde se combinan el déficit habitacional, la presión ambiental y las barreras económicas (Saliu & Akiomon, 2022). La VIS debe garantizar condiciones mínimas de habitabilidad

y sostenibilidad a largo plazo. El sector de la construcción es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones globales de CO₂, principalmente por el uso intensivo de materiales cementicios (Chen et al., 2023). En Ecuador, este modelo se replica mediante el uso de bloques de hormigón, material que, aunque se encuentra estandarizado, presenta alta huella de carbono y bajo desempeño de aislamiento térmico (Gillani et al., 2023).

Según datos del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, gran parte del parque habitacional en la Sierra ecuatoriana presenta deficiencias críticas por el uso de materiales con bajo aislamiento térmico (MIDUVI, 2021). Este problema no solo afecta la calidad de vida, sino que aumenta el consumo de energía y agrava la pobreza energética, donde las familias no pueden costear sistemas de calefacción adecuados (Porrás-Salazar et al., 2020). Por ello, es necesario rediseñar la vivienda de interés social integrando resistencia estructural, eficiencia térmica y cuidado ambiental.

Fabricar un bloque de hormigón genera entre 1,40 y 1,60 kg de CO₂ por unidad y requiere entre 0,5 y 0,6 kWh de energía, lo que supone un impacto ambiental nada despreciable cuando se habla de vivienda social a gran escala (Ashokan et al., 2023; Monfront, 2019). Estos valores evidencian la necesidad de explorar materiales alternativos que reduzcan la huella de carbono sin comprometer la seguridad estructural de las edificaciones.

Por su parte, la economía circular propone romper con el modelo lineal de extraer-producir-desechar, apostando por estrategias de reutilización, reciclaje y revalorización de materiales. En el ámbito de la construcción, este enfoque cobra especial relevancia dado el volumen de residuos que genera la producción de materiales convencionales (Benachio et al., 2020). En Ecuador, donde la infraestructura para gestión de residuos es limitada, el uso de desechos industriales y urbanos en materiales de construcción representa una oportunidad para reducir impactos ambientales y fomentar sistemas productivos más sostenibles (Boris, 2025; Villa-Achupallas et al., 2024).

La transición hacia modelos circulares es particularmente relevante en la región Sierra. En ciudades de gran altitud como Quito o Ambato, el clima templado-frío y las oscilaciones térmicas diarias generan disconfort en edificaciones con envolventes deficientes (INAMHI, 2025). El aislamiento térmico es fundamental para mitigar la pobreza energética en sectores vulnerables que no pueden costear sistemas activos de climatización (Domínguez et al., 2022). En el caso de Ecuador, donde la infraestructura para la gestión de residuos sigue siendo limitada, aprovechar desechos industriales y urbanos en la fabricación de materiales de construcción abre una oportunidad para disminuir el impacto ambiental y avanzar hacia sistemas productivos más sostenibles (Besana & Ferrari, 2019; Boris, 2025).

El PET destaca por su baja densidad e impermeabilidad (Besana & Ferrari, 2019); el aserrín, por su porosidad y capacidad de aislar térmicamente (Rojas-Herrera et al., 2024); y la viruta de wet blue, por ser un residuo industrial de difícil gestión que puede revalorizarse

dentro de matrices cementicias (Mena, 2016). Si bien estudios anteriores han analizado estos materiales por separado, aún hace falta contrastar su desempeño en modelos de vivienda integral que validen su uso real en el contexto andino. La literatura muestra vacíos importantes en este campo. La mayor parte de las investigaciones se limita a ensayos a escala de material, sin examinar cómo se comportan estos componentes a nivel de edificio completo. En Ecuador, los estudios sobre ladrillos ecológicos son dispersos y no toman en cuenta las condiciones climáticas particulares de la zona andina.

Este estudio evalúa el desempeño térmico de envolventes para vivienda social en la Sierra ecuatoriana, empleando ladrillos ecológicos con PET, aserrín y viruta de wet blue. El análisis se centra en el comportamiento energético de la envolvente a través de simulaciones dinámicas en un prototipo representativo, utilizando propiedades de materiales respaldadas por la literatura científica. Si bien los aspectos mecánicos y económicos son relevantes para la vivienda social, esta investigación prioriza la optimización térmica como estrategia pasiva para reducir la pobreza energética en el entorno andino.

Con este trabajo se busca generar evidencia científica que oriente el desarrollo de soluciones constructivas más sostenibles y adaptadas al clima andino. Al combinar modelación digital con análisis comparativos, el estudio pretende enriquecer el debate académico sobre los materiales en la vivienda social y ofrecer insumos técnicos útiles para políticas públicas orientadas a una construcción más sostenible.

Diseño metodológico y enfoque del estudio

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo y exploratorio basado en simulación energética. Este método permite evaluar el desempeño térmico de materiales alternativos antes de su fabricación física, mediante la modelación digital de condiciones climáticas reales (Dos Santos et al., 2021). El estudio analiza cómo la envolvente arquitectónica gestiona el confort térmico de forma pasiva. En la región andina, donde las oscilaciones de temperatura son significativas y el acceso a climatización mecánica es limitado, comprender el flujo de calor a través de los muros es esencial para garantizar condiciones de habitabilidad en la vivienda social (Romero-Perez et al., 2020).

La caracterización de los ladrillos ecológicos se realizó mediante revisión de literatura científica especializada. Se utilizaron propiedades térmicas y configuraciones geométricas reportadas en estudios previos validados experimentalmente. Este enfoque es común en la investigación de materiales alternativos y permite evaluar escenarios de materialidad mediante simulación energética (Ramos et al., 2019). Para aislar el efecto de cada material, se mantuvieron constantes la geometría del prototipo, el programa de uso y las condiciones climáticas, reemplazando únicamente el sistema de cerramiento convencional por ladrillos de PET, aserrín y viruta de wet blue.

Fuentes de datos y materiales considerados (revisión técnica)

Para el desarrollo de la investigación se definieron tres familias de ladrillos ecológicos, clasificadas en función del tipo de residuo incorporado como componente principal: (i) ladrillos con adición de plástico PET (polietileno tereftalato), (ii) ladrillos con incorporación de aserrín o viruta de madera, y (iii) ladrillos elaborados con viruta de wet blue, subproducto de la industria curtidora. Esta clasificación permitió estructurar un marco comparativo coherente, alineado con los principios de economía circular aplicada a la construcción y con la disponibilidad real de residuos en el contexto ecuatoriano y andino.

Los valores utilizados para las simulaciones térmicas corresponden a las dosificaciones y coeficientes de conductividad que mostraron los mejores resultados de desempeño en las investigaciones de origen, garantizando un punto de partida optimizado para la evaluación de la envolvente. Estos parámetros técnicos, que incluyen las proporciones de mezcla y las propiedades térmicas para el plástico PET, el aserrín y la viruta de wet blue, se presentan en la Tabla 1, detallando los espesores de modelado empleados para asegurar la precisión de los balances energéticos.

Tabla 1.
Dosificación adoptada de los ladrillos y valores de conductividad térmica ingresados en el programa de simulación.

TIPO DE LADRILLO ECOLÓGICO CON EL RESIDUO INCORPORADO	PORCENTAJE DE ADICIÓN DEL RESIDUO	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA INGRESADA EN EL PROGRAMA (W/M·K)	ESPESOR MODELADO EN EL PROGRAMA	FUENTE BIBLIOGRÁFICA
Plástico PET	35,16%	0.59	9 cm	Pinto Ranilla et al., 2019
Aserrín / viruta de madera	15%	0.2793	15 cm	Manobanda, 2022
Viruta de wet blue	8%	0.25	4 cm	Litu et al., 2025

Nota. Elaboración por autores, 2025.

Las variables seleccionadas para el modelado se priorizaron por su relevancia directa para la simulación energética, principalmente la conductividad térmica y los rangos de espesor de los elementos de mampostería, parámetros comúnmente utilizados en estudios de des-

empeño térmico de envolventes arquitectónicas (Et-Tanteney et al., 2025; Hany et al., 2021; Ramos et al., 2019). Estas propiedades fueron consideradas representativas y suficientemente validadas en la literatura para su uso en simulación digital.

Caso de estudio y condiciones climáticas

Se eligió Quito como caso de estudio por su representatividad climática dentro de la región andina. Situada a 2.850 m.s.n.m., la ciudad presenta condiciones de baja presión atmosférica y alta radiación solar que la hacen especialmente relevante para este tipo de análisis. La simulación térmica se llevó a cabo para un periodo anual de 8.760 horas en DesignBuilder, empleando datos meteorológicos típicos con variables horarias de temperatura, viento y humedad.

La ciudad registra una temperatura promedio anual de 13,9°C, con máximas medias de 19,5°C y mínimas de 8,2°C. La amplitud térmica diaria de 11,3°C constituye el principal desafío para el desempeño de la envolvente, ya que los materiales deben ser capaces de estabilizar el ambiente interior frente a ciclos rápidos de calentamiento y enfriamiento a lo largo del día.

A esto se suma una humedad relativa del 75% y una radiación solar horizontal de 4,2 kWh/m²/día, factores que intensifican el intercambio energético a través de los cerramientos. Este escenario refuerza la pertinencia de transitar hacia materiales con mayor capacidad aislante, como los ladrillos ecológicos, con el fin de garantizar el confort interior sin recurrir a sistemas de climatización activa.

Procedimiento de interoperabilidad entre el modelo BIM y la simulación térmica

Para garantizar una transición coherente entre el modelo arquitectónico y el entorno de simulación energética, se definió un procedimiento de interoperabilidad BIM-simulación estructurado en tres etapas consecutivas. En la primera, se desarrolló el modelado geométrico completo del prototipo de vivienda en Autodesk Revit (Imagen 1), estableciendo la volumetría, los espacios interiores y los elementos constructivos que conforman la envolvente. Esta etapa resultó fundamental para delimitar correctamente las superficies de intercambio térmico y los volúmenes de aire interior, aspectos clave para la fiabilidad de los resultados.

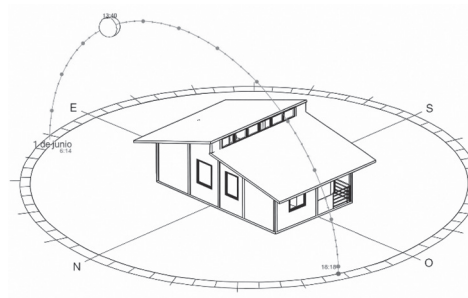


Imagen 1. Modelado digital del prototipo de vivienda de interés social.

Nota. Elaboración por autores, 2025.

En la segunda etapa, el modelo BIM fue exportado a un formato interoperable compatible con el software de simulación térmica. Este proceso permitió transferir la geometría del edificio conservando su organización espacial y las relaciones entre zonas, sin incorporar aún propiedades térmicas específicas.

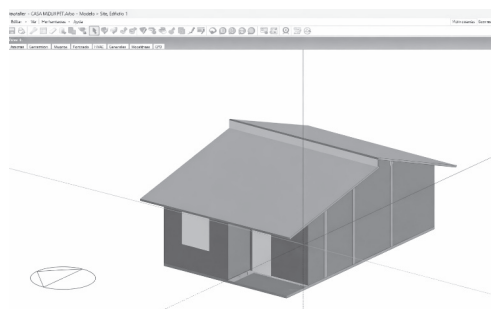


Imagen 2. Vivienda MIDUVI en el programa de simulación térmica.

Nota. Elaboración por autores, 2025.

Finalmente, el archivo exportado fue importado en el entorno de simulación térmica (Imagen 2), donde el modelo fue reconocido como la geometría tridimensional de la vivienda de interés social. A partir de esta base, se procedió a asignar las condiciones climáticas, definir las zonas térmicas y configurar las propiedades de los materiales de la envolvente, iniciando las simulaciones comparativas.

Configuración del modelo térmico y escenarios de materialidad de la envolvente

La simulación térmica del prototipo se realizó en DesignBuilder, tomando como base el modelo geométrico exportado previamente desde el entorno BIM. Una vez integrada la geometría del edificio, se configuraron los parámetros de sitio y clima mediante la plantilla correspondiente a Quito, Ecuador, disponible en la base de datos del software.

Esta configuración permitió simular el comportamiento térmico del edificio bajo condiciones ambientales representativas de la Sierra ecuatoriana, incluyendo variables meteorológicas horarias como temperatura exterior, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento. El uso de un archivo climático estandarizado aseguró la consistencia del análisis y la comparabilidad entre los distintos escenarios evaluados.

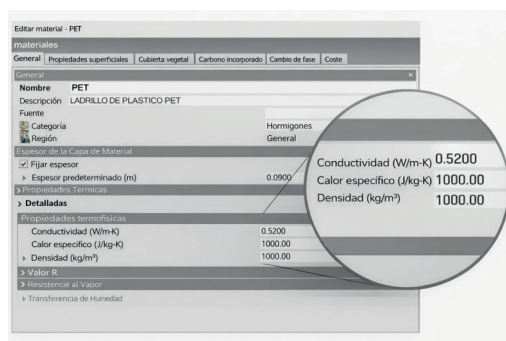


Imagen 3. Creación de materiales.

Nota. Elaboración por autores, 2025.

A continuación, se definieron en el entorno de simulación los materiales alternativos de cerramiento: ladrillos ecológicos con adición de plástico PET, aserrín y viruta de wet blue. A cada uno se le asignaron las propiedades térmicas obtenidas de la literatura especializada, junto con las dimensiones y espesores representativos de elementos de mampostería empleados en vivienda de interés social (Imagen 3). Esta etapa permitió construir configuraciones de muro equivalentes, diferenciadas únicamente por su materialidad, evitando la introducción de variables adicionales que pudieran distorsionar la comparación.

Con los materiales definidos, se sustituyó el sistema constructivo base —cerramientos tradicionales de bloque de hormigón— por cada una de las alternativas ecológicas. Cada sustitución dio lugar a un escenario de simulación independiente, manteniendo constantes la geometría, el uso, las condiciones climáticas y los parámetros operativos de la vivienda.

Simulación térmica: variables de salida e indicadores de desempeño

La evaluación del desempeño térmico se organizó bajo una lógica comparativa, orientada a identificar cómo varía el comportamiento energético del prototipo según la materialidad de su envolvente.

La simulación abarcó un periodo anual de 8.760 horas, empleando los criterios meteorológicos de la ciudad de Quito. El paso temporal se fijó en seis intervalos por hora para capturar las oscilaciones térmicas diarias propias de la región y su efecto sobre la inercia térmica de los materiales. Como indicador principal de confort se utilizó la temperatura operativa, ya que integra tanto la temperatura del aire como la radiación de las superficies, ofreciendo una aproximación más fiel a la percepción térmica real de los ocupantes.

Los datos generados por EnergyPlus se exportaron en formato CSV para su análisis estadístico. A través de tablas de contingencia y comparación de medias, se evaluó el desempeño de cada material ecológico frente al sistema de hormigón convencional. Este procedimiento permitió medir el flujo de calor a través de los muros y cuantificar la reducción de pérdidas térmicas alcanzada por las alternativas de PET, aserrín y wet blue.

Complementariamente, se incorporó la temperatura interior promedio de los espacios habitables como indicador sintético del confort térmico pasivo. Este parámetro resulta especialmente adecuado para el análisis de vivienda de interés social, donde el uso de sistemas activos de climatización suele ser limitado o directamente inexistente. Su inclusión permitió evaluar el impacto global de cada alternativa sobre las condiciones térmicas interiores, facilitando tanto la comparación entre escenarios como la identificación de las soluciones con mayor potencial para mejorar la habitabilidad en contextos de restricción económica.

Resultados del comportamiento térmico de los materiales

Los resultados se analizaron desde una doble perspectiva: el desempeño de la envolvente en términos de transmisión térmica a través de los muros y el comportamiento térmico interior del prototipo como indicador indirecto de confort pasivo. En todos los escenarios simulados se mantuvieron constantes la geometría del edificio, la configuración espacial, el uso de los ambientes y las condiciones climáticas, de modo que las variaciones observadas pudieran atribuirse exclusivamente a la materialidad de los cerramientos.

Los resultados indican que los muros con ladrillos ecológicos presentan, en términos generales, un mejor desempeño térmico frente a los cerramientos de bloque convencional de hormigón. Esta mejora se traduce principalmente en una menor pérdida de calor a través de los muros exteriores, lo que refleja una mayor capacidad de los materiales alternativos para atenuar las transferencias térmicas entre el exterior y el interior. Este comportamiento

cobra especial relevancia en contextos andinos, donde las oscilaciones térmicas diarias inciden directamente en el discomfort de la vivienda social.

Los ladrillos con aserrín o viruta de madera fueron los que mejor desempeño térmico mostraron, registrando los niveles más bajos de transmisión de calor a través de los muros. Este resultado se explica por la baja conductividad térmica del material lignocelulósico y por su estructura porosa, que incorpora aire en su matriz y frena los flujos de calor. Como consecuencia, las simulaciones arrojaron menores pérdidas térmicas en los cerramientos con este tipo de ladrillo, así como temperaturas interiores más estables a lo largo del periodo analizado (Gráfico 1).

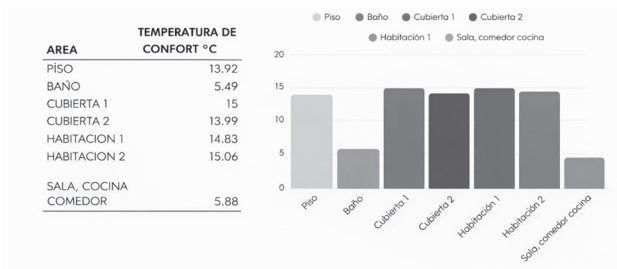


Gráfico 1. Temperatura de Confort en °C en ladrillos de aserrín.
Nota. Elaboración por autores, 2025.

Estos resultados sugieren que incorporar residuos orgánicos como el aserrín en la fabricación de ladrillos ecológicos no solo reduce el impacto ambiental del material, sino que también aporta ventajas funcionales concretas para el desempeño térmico de la envolvente en vivienda de interés social. En particular, la mejora en la estabilidad térmica interior resulta especialmente valiosa en contextos donde los sistemas activos de climatización son escasos o inaccesibles, lo que refuerza el potencial de estos materiales como soluciones pasivas para garantizar el confort térmico.

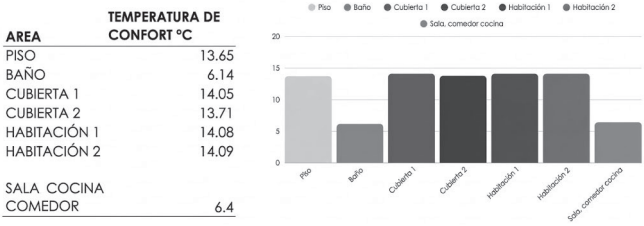


Gráfico 2. Temperatura de Confort en °C en ladrillos PET.
Nota. Elaboración por autores, 2025.

Los ladrillos ecológicos con plástico PET también mostraron un desempeño térmico favorable frente al bloque convencional de hormigón. Las simulaciones evidenciaron una reducción apreciable de las pérdidas térmicas a través de los muros, lo que se tradujo en temperaturas interiores ligeramente más altas durante los periodos de menor temperatura exterior. Este comportamiento, reflejado en el Gráfico 2, indica que la presencia de PET en la matriz del ladrillo mejora la capacidad aislante del cerramiento, favoreciendo condiciones de confort térmico pasivo sin depender de sistemas activos de calefacción, aspecto especialmente relevante en el contexto de la vivienda de interés.

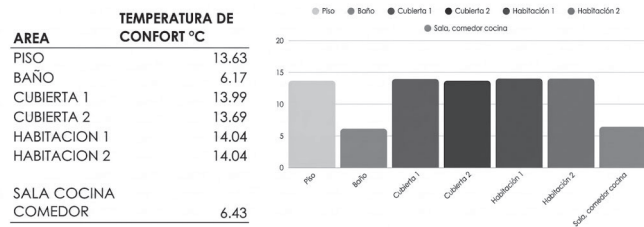


Gráfico 3. Temperatura de Confort en °C en ladrillos de wet blue.
Nota. Elaboración por autores, 2025.

Los ladrillos elaborados con viruta de wet blue mostraron un comportamiento térmico intermedio respecto a las demás alternativas evaluadas. El Gráfico 3 refleja una reducción moderada de las pérdidas térmicas frente al bloque de hormigón, atribuible a la combinación de la matriz cementicia con el residuo fibroso de cuero. Esta composición genera una conductividad térmica inferior a la del material convencional, lo que mejora el desempeño de la envolvente, aunque sin alcanzar los niveles registrados en los ladrillos con aserrín o PET. Aun así, los resultados confirman el potencial de este residuo industrial como componente funcional en materiales constructivos con mejores prestaciones térmicas.

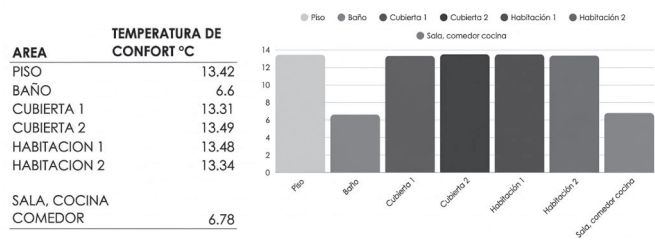


Gráfico 4. Temperatura de Confort en °C en ladrillos de hormigón.
Nota. Elaboración por autores, 2025.

En contraste, los cerramientos de bloque de hormigón convencional registraron las mayores pérdidas de calor y las temperaturas interiores promedio más bajas, como se aprecia en el Gráfico 4. Este comportamiento confirma la limitada capacidad aislante de este material en climas andinos, donde las envolventes con alta conductividad térmica propician el desconfort interior y aumentan la vulnerabilidad energética de las viviendas, en particular en sectores de bajos ingresos.

Tabla 2.
Matriz comparativa de los resultados de la simulación.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/M·K)	PÉRDIDA O GANANCIA DE CALOR POR MUROS EXTERIORES (KW)	PÉRDIDA O GANANCIA DE CALOR POR MUROS INTERIORES (KW)	PÉRDIDA O GANANCIA DE CALOR POR CUBIERTAS (KW)	TEMPERATURA PROMEDIO INTERIOR (°C)
PET	0.29	-0.9	-0.3	-2.13	18
Aserrín	0.12	-1.26	-0.26	-2.67	19.94
Wet Blue	0.25	-0.96	-0.39	-2.13	18
Hormigón	0.15	-1.19	-0.48	-2.09	18

Nota. Elaboración por autores, 2025.

La comparación global de pérdidas y ganancias térmicas a través de los muros, resumida en la Tabla 2, confirma que todas las alternativas de ladrillos ecológicos superaron al bloque convencional de hormigón en eficiencia térmica. Entre ellas, el ladrillo con aserrín se posicionó como la solución de mejor desempeño global, especialmente en términos de confort térmico interior, consolidándose como una alternativa con alto potencial para su uso en envoltentes de vivienda de interés social en la región andina.

Discusión

Los hallazgos de este trabajo dejan claro que la elección de los materiales no es una decisión estética ni estructural de segundo plano, sino el factor que determina si una vivienda de interés social será realmente habitable. En el clima de la Sierra ecuatoriana, donde el frío es persistente y la calefacción activa resulta inalcanzable para las familias más vulnerables, la capacidad pasiva de los muros se convierte en la única barrera real frente a la pobreza energética.

La superioridad térmica de las alternativas ecológicas frente al hormigón tradicional valida una premisa técnica concreta: integrar residuos no solo representa una acción ambiental, sino que optimiza de forma significativa la función del edificio. El bloque de hormigón, pese a su predominio en la construcción pública del país, resultó ser el sistema de menor desempeño, incapaz de superar los 18°C de temperatura interior promedio y funcionando, en la práctica, como un puente térmico permanente. Esto pone en entredicho la estandarización de sistemas cementicios en climas fríos, donde la ausencia de aislamiento deteriora directamente la calidad de vida de los ocupantes.

El desempeño del ladrillo con aserrín (19,94°C de temperatura interior promedio) merece un análisis particular. Su rendimiento se explica por la baja capacidad de transferencia de calor propia de la materia lignocelulósica (0,12 W/m·K) y por su microestructura porosa, que atrapa aire y genera una barrera natural más efectiva que la del PET o la matriz fibrosa del wet blue. Estos resultados son consistentes con estudios que posicionan a los biocompuestos como referentes en aislamiento pasivo para climas de altura (Bahar et al., 2024; Benjeddou, 2025).

Por su parte, la viabilidad de los ladrillos de PET y wet blue —ambos con una temperatura interior promedio de 18°C— abre un debate relevante sobre la economía circular en el país. Aunque su rendimiento térmico es intermedio, su valor radica en la capacidad de absorber residuos de difícil gestión industrial. Estos resultados coinciden con investigaciones que señalan que el PET, al incorporarse en matrices cementicias, reduce la densidad del material y modifica su comportamiento térmico, aunque su eficacia depende en gran medida de la proporción utilizada y de la distribución del residuo en la mezcla (Farah et al., 2024; Limami et al., 2020).

El wet blue, al ser un residuo con contenido de cromo, encuentra en la matriz cementicia un mecanismo de encapsulamiento que, además, mejora la conductividad del material convencional (0,25 W/m·K frente a 0,15 W/m·K del hormigón según la modelación). Este comportamiento concuerda con estudios recientes que destacan el potencial de los residuos de la industria curtidora para reducir la conductividad térmica de los materiales de construcción sin comprometer completamente su desempeño mecánico (Hashem et al., 2023; Lakraflí et al., 2012).

Los datos obtenidos en la simulación con DesignBuilder para el contexto de Quito revelan que optimizar la materialidad de la envolvente permite elevar la temperatura de confort hasta en 2°C. Este incremento es especialmente significativo porque se logra sin modificar la geometría del prototipo ni añadir costos operativos, lo que valida la eficacia del diseño pasivo frente a los sistemas convencionales de hormigón.

Como reflexión final, este trabajo subraya que la integración de principios de economía circular en la vivienda de interés social debe trascender el ámbito académico. La transición hacia cerramientos fabricados con residuos reciclados constituye una solución técnica madura para elevar el estándar de habitabilidad en los Andes, logrando un doble propósito: proteger a los hogares de la precariedad térmica y reducir la huella ambiental de la industria de la construcción.

Conclusiones

Esta investigación evaluó el comportamiento térmico de ladrillos ecológicos elaborados con plástico PET, aserrín y viruta de wet blue, aplicados a envoltentes de vivienda de interés social en la región andina del Ecuador, mediante modelación digital y simulación térmica bajo las condiciones climáticas de Quito.

Los resultados muestran que la materialidad de los cerramientos incide de forma significativa en el desempeño térmico de la vivienda, incluso cuando el uso y las condiciones climáticas del prototipo se mantienen constantes. En todos los casos, los ladrillos ecológicos evaluados presentaron un comportamiento térmico comparable o superior al del bloque convencional de hormigón.

El ladrillo con aserrín obtuvo el mejor desempeño térmico global, reflejado en una menor conductividad térmica y en temperaturas interiores promedio más altas. Este resultado demuestra que los residuos lignocelulósicos son eficaces para mejorar el confort térmico pasivo en climas andinos.

Los ladrillos de plástico PET y viruta de wet blue también registraron mejoras térmicas frente al bloque convencional, aunque con un desempeño intermedio. Su aplicación resulta relevante desde una perspectiva de economía circular, al ofrecer alternativas técnicas para la valorización de residuos plásticos y subproductos industriales de difícil gestión ambiental.

El bloque de hormigón convencional presentó el desempeño térmico menos eficiente, con mayores pérdidas de calor y temperaturas interiores promedio más bajas, lo que confirma sus limitaciones como material de cerramiento en viviendas ubicadas en climas templado-fríos cuando no se complementa con soluciones adicionales de aislamiento.

En conjunto, los resultados indican que incorporar ladrillos ecológicos en la envolvente de la vivienda de interés social es una estrategia viable para mejorar el confort térmico interior, reducir la vulnerabilidad energética de los hogares y disminuir el impacto ambiental de los sistemas constructivos tradicionales.

Aunque el estudio se apoya en simulaciones térmicas con propiedades materiales obtenidas de la literatura, los hallazgos ofrecen evidencia técnica útil para la toma de decisiones en el diseño arquitectónico y para el desarrollo de políticas de vivienda social orientadas a la sostenibilidad. Futuras investigaciones podrán complementar estos resultados con ensayos experimentales y evaluaciones a escala real.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Diseño y Arquitectura por el apoyo académico e institucional brindado para el desarrollo de esta investigación. Su respaldo permitió el acompañamiento académico y un entorno propicio para el análisis y la reflexión crítica sobre la vivienda de interés social y la sostenibilidad en la construcción.

Referencias bibliográficas

- Ashokan, A., Jaganathan, S., Rajendran, S., & Dhairiyasamy, R. (2023). Sustainable strategies for reducing environmental impact in concrete block manufacturing: a comprehensive life cycle assessment. *International Journal of Green Energy*. <https://doi.org/10.1080/15435075.2023.2281331>
- Bahar, A. A., Yulianto, A., & Astuti, B. (2024). Effect of Sawdust Addition on Thermal Conductivity of Clay Bricks. *Rekayasa Sipil: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 18(1), 72–77. <https://doi.org/10.21776/UB.REKAYASASIPIL.2024.018.01.12>
- Benachio, G. L. F., do Carmo Duarte Freitas, M., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121046. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121046>
- Benjeddou, O. (2025). Experimental investigation of the impact of wood sawdust incorporation on the physical and thermal properties of fired clay bricks. *Dental science reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-025-00365-Z>
- Besana, D., & Ferrari, C. (2019). *Building with Plastic. A New Possible Solution for the Environment*. 5, 73–82. <https://doi.org/10.19229/2464-9309/582019>
- Boris, T. (2025). Sustainable construction using recycled plastic bricks: A novel approach. *Journal of physics*, 3060(1), 12013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/3060/1/012013>
- Chen, S., Teng, Y., Zhang, Y., Leung, C. K. Y., & Pan, W. (2023). Reducing embodied carbon in concrete materials: A state-of-the-art review. *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106653. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106653>
- Domínguez, S. Á., Delgado, Mc. G., Amores, T. R. P., Penteado, C. F. A., & Bertrand, M. T. (2022). Improving habitability in social housing through passive cooling: a case study in Mengíbar (Jaén, Spain). *Sustainable Cities and Society*, 78, 103642. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103642>
- dos Santos, T. L., Porto, F. H. F. D. S., & Silva, A. S. (2021). *Analysis of the correlation between comfort and thermal performance in social housing using computer simulation*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14287090>
- Et-Tanten, R., Manssouri, I., Bouayad, A., Limami, H., Azzouzi, A., El Amrani, B., & El Khadiri, K. (2025). Physicochemical and Thermomechanical Performance of Eco-Friendly Unfired Clay-Biopolymer Composite Bricks. *Journal of building material science*, 7(3), 166–182. <https://doi.org/10.30564/JBMS.V7I3.7994>

- Farah, E., Yaacoub, S., Dgheim, J., & El Hajj, N. (2024). Assessing the Impact of Shredded Polyethylene Terephthalate (PET) Post-Consumer Plastic as a Partial Replacement for Coarse Aggregates in Unreinforced Concrete. *Materials*, 17(21). <https://doi.org/10.3390/MA17215208>
- Gillani, S. T. A., Hu, K., Chen, Y., Zhang, T., & Hu, R. (2023). *Life cycle impact of concrete masonry blocks incorporating demolition waste*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3473561/v1>
- Hany, E., Fouad, N., Abdel-Wahab, M., & Sadek, E. (2021). Investigating the mechanical and thermal properties of compressed earth bricks made by eco-friendly stabilization materials as partial or full replacement of cement. *Construction and Building Materials*, 281, 122535. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122535>
- Hashem, M. A., Hasan Zahin, M. E., Haque, M. S., Milu, M. S., Hasan, M. A., & Payel, S. (2023). Leather shaving dust utilization in brick preparation: Solid waste management in tannery. *Construction and Building Materials*, 400, 132769–132769. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.132769>
- INAMHI. (2025). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*.
- Lakrafli, H., Tahiri, S., Albizane, A., & El Otmani, M. E. (2012). Effect of wet blue chrome shaving and buffing dust of leather industry on the thermal conductivity of cement and plaster based materials. *Construction and Building Materials*, 30, 590–596. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.041>
- Larrea-Sáez, L., Cuevas, C., & Casas-Ledón, Y. (2023). Energy and environmental assessment of the chilean social housing: Effect of insulation materials and climates. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136234>
- Limami, H., Manssouri, I., Cherkaoui, K., Saadaoui, M., & Khaldoun, A. (2020). Thermal performance of unfired lightweight clay bricks with HDPE & PET waste plastics additives. *Journal of Building Engineering*, 30, 101251. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101251>
- Litu, M., Ali, M. F., Shabur, M. A., Taimullah, M., & Arnob, F. M. (2025). Utilization of chromium tanned leather waste in cementitious and gypsum composites for sustainable construction materials. *Discover Sustainability* 2025 6:1, 6(1), 192-. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01040-z>
- Manobanda, S. (2022). *Diseño experimental y análisis del comportamiento mecánico de bloques fabricados con compuesto madera - cemento "cmc", en comparación con los bloques tradicionales normados*. [Trabajo de Titulación]. EPN.
- Mena, C. M. R. (2016). *Recuperación de colágeno libre de cromo de los residuos sólidos postcurtición en la industria del cuero*. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5208>
- MIDUVI. (2021). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*.
- Monfront, L. (2019). *Multiscale analysis of the environmental impacts of the concrete masonry: from masonry unit to building*. 4(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/S41024-019-0042-Z>
- Pinto Ranilla, B., Celso, P., Cuba Delgado, B., Harry, P., Leopoldo Choque Flores, M., & Sismico Estructural, D. (2019). Estudio de las propiedades térmicas y acústicas en ladrillos con plásticos PET, Lima 2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45777>
- Porras-Salazar, J. A., Contreras-Espinoza, S., Cartes, I., Piggot-Navarrete, J., & Pérez-Fargallo, A. (2020). Energy poverty analyzed considering the adaptive comfort of people

- living in social housing in the central-south of Chile. *Energy and Buildings*, 223, 110081. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110081>
- Ramos, A., Sáez, M. P., Rodríguez, M. A., Antón, M. N., Gómez, J., & Piloto, P. (2019). Thermal properties of fired clay bricks from waste recycling. A review of studies. *Fire Research*, 3(1). <https://doi.org/10.4081/FIRE.2019.71>
- Rojas-Herrera, C., Martínez-Soto, A., Avendaño-Vera, C., & Cárdenas-R, J. P. (2024). Characterization and utilization of sawdust waste generated from advanced manufacture for its application as a thermal insulation in sustainable buildings using the blowing technique. *Journal of building engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109217>
- Romero-Perez, C. K., Rodriguez-Munõz, N. A., Borbon-Almada, A. C., Alpuche-Cruz, M. G., & Martin-Dominguez, I. R. (2020). Energy and Thermal Performance of Social Housing: Analysis of Heat Flow Through the Envelope and Comparison With International Schemes. *Journal of Solar Energy Engineering-transactions of The Asme*, 142(2). <https://doi.org/10.1115/1.4045171>
- Saliu, I., & Akiomon, E. (2022). *Sustainable Housing in Developing Countries: A Reality or a Mirage*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99060>
- Villa-Achupallas, M., López, A. M., Díez-Montero, R., García, A. L. E., & Lobo, A. (2024). Analysis of household waste production in Ecuador: Limitations for sustainable management in local communities. *Waste Management*, 190, 531–537. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.10.016>

Abstract: Social interest housing in the Ecuadorian Andes faces a triple challenge: a persistent housing deficit, chronic thermal discomfort, and the high environmental impact of traditional construction systems. This study evaluates the technical viability of eco-bricks made from PET residues, sawdust, and wet blue shavings as an alternative to optimize the architectural envelope. Through a BIM interoperability workflow and dynamic simulations in DesignBuilder applied to a prototype in Quito, the performance of these recycled materials was contrasted against the conventional concrete block. Results reveal that eco-bricks are not only environmentally responsible but also technically superior, achieving a systematic reduction in heat loss and raising the average interior temperature, with sawdust being the most efficient component. It is concluded that repurposing these residues is a tactical and mature solution to improve passive habitability and reduce thermal vulnerability in the Highlands region.

Keywords: circular economy – building energy simulation – building envelope – eco-friendly bricks – social housing

Resumo: A habitação de interesse social (HIS) nos Andes equatorianos enfrenta um triplo desafio: um déficit habitacional persistente, o desconforto térmico crônico e o alto

impacto ambiental dos sistemas construtivos tradicionais. Este estudo avalia a viabilidade técnica de tijolos ecológicos fabricados com resíduos de PET, serragem e aparas de *wet blue* como uma alternativa para otimizar o invólucro arquitetônico. Por meio de um fluxo de interoperabilidade BIM e simulações dinâmicas no DesignBuilder aplicadas a um protótipo em Quito, o desempenho dessas materialidades recicladas foi contrastado com o bloco de concreto convencional. Os resultados revelam que os tijolos ecológicos não são apenas ambientalmente responsáveis, mas tecnicamente superiores, conseguindo reduzir sistematicamente as perdas de calor e elevar a temperatura interna média, com a serragem destacando-se como o componente mais eficiente. Conclui-se que a revalorização desses resíduos é uma solução tática e madura para melhorar a habitabilidade passiva e reduzir a vulnerabilidade energética na região da Serra.

Palavras-chave: economía circular – envoltória arquitetônica – habitação de interesse social – simulação energética – tijolos ecológicos

Luis Enrique Chávez Rubio: Ingeniero Civil con Master in Civil Engineering – Building Construction en Leiria, Portugal. Profesor Ocasional de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Diseño y Arquitectura.

María José Mayorga Vargas: Arquitecta en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.