

Eficiencia energética en viviendas andinas: el rol del aislamiento térmico como medida de control

Energy efficiency in andean housing: the role of thermal insulation as control measure

DOI: 10.46932/sfjdv6n5-031

Received on: Apr, 9th 2025

Accepted on: Apr, 29th 2025

Henry Marcelo Tenesaca-Lojano

Arquitecto, Maestría en Construcciones, mención en Administración de la Construcción Sustentable
Institución: Universidad Católica de Cuenca
Dirección: Camino a Patamarca y Cojimíes sector La Uncovía, Cuenca, Ecuador
Correo electrónico: hmtenesaca152@ucacue.edu.ec

Jefferson Eloy Torres-Quezada

PhD en Arquitectura
Institución: Universidad Católica de Cuenca
Dirección: Camino a Patamarca y Cojimíes sector La Uncovía, Cuenca - Ecuador
Correo electrónico: jefferson.torres@ucacue.edu.ec

RESUMEN

El siguiente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto del aislamiento térmico (AT) en el consumo energético (CE) de un conjunto de edificaciones de la ciudad de Cuenca, Ecuador en un contexto con un clima andino caracterizado por fluctuaciones térmicas significativas. A pesar de los beneficios del aislante térmico en la eficiencia energética demostrados a nivel global, en América Latina y en Cuenca su uso es limitado por factores económicos y la falta de normativas estrictas. El estudio, se enfoca en viviendas construidas en cuatro periodos diferentes (1980, 1990, 2010 y 2020), con materiales como ladrillo macizo y bloque hueco de piedra pómez, incorporando aislantes térmicos, este proceso ha sido desarrollado mediante simulaciones digitales con el programa DesignBuilder y su motor de cálculo EnergyPlus. Se analizó cómo diferentes tipos de aislantes, impactan el CE en estas viviendas. Se planteó la hipótesis de que la optimización del aislamiento puede reducir el CE en las condiciones locales. Los resultados han sido comparados con estudios de una base de datos que no cuentan la aplicación de ningún tipo de aislante térmico. El estudio establece que el uso del aislante térmico no repercute de manera significativa en los distintos sistemas constructivos, para este estudio las simulaciones indicaron que al aplicar el aislante térmico existe una reducción de 5.12 kWh/m² anual mientras que el uso de doble vidrio como aislante no aporta de ningún modo en el ahorro del CE en las viviendas del caso de estudio.

Palabras clave: Aislante Térmico, Consumo Energético, Materiales, Simulaciones Digitales, Temperatura.

ABSTRACT

The following study aimed to evaluate the impact of thermal insulation (TI) on the energy consumption (EC) of a group of buildings in the city of Cuenca, Ecuador, in a context with an Andean climate characterized by significant thermal fluctuations. Despite the benefits of thermal insulation on energy efficiency demonstrated globally, in Latin America and Cuenca, its use is limited by economic factors and the lack of strict regulations. The study focuses on homes built in four different periods (1980, 1990, 2010, and 2020), with materials such as solid brick and hollow pumice blocks, incorporating thermal insulation. This process has been developed through digital simulations with the DesignBuilder program and its

EnergyPlus calculation engine. The impact of different types of insulation on the EC of these homes was analyzed. The hypothesis was raised that insulation optimization can reduce EC under local conditions. The results were compared with studies from a database that did not include the use of any type of thermal insulation. The study establishes that the use of thermal insulation does not significantly impact the various construction systems. For this study, simulations indicated that applying thermal insulation results in a reduction of 5.12 kWh/m² per year, while the use of double-glazed windows as insulation does not contribute in any way to the energy savings in the homes in the case study.

Keywords: Thermal Insulation, Energy Consumption, Materials, Digital Simulations, Temperature.

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como el CE, han impulsado la búsqueda de soluciones más eficientes en la construcción. En este contexto, la necesidad del (AT) en la envolvente de las viviendas ha cobrado una creciente relevancia, especialmente en regiones de latitudes altas o de climas extremos, como las zonas andinas, donde las bajas temperaturas y las grandes fluctuaciones térmicas generan importantes pérdidas de calor. Debido a esto, la necesidad de incorporar estos materiales ha sido respaldada por diversos estudios, que han demostrado que una correcta aplicación del AT puede ser una medida clave para reducir el consumo de energía en climas fríos y templados (Ascione et al., 2014).

En Europa, se ha establecido una normativa para la eficiencia energética de las edificaciones, de modo que la aplicación de un (AT) adecuado reduce la demanda energética y mejora el impacto ambiental (Comisión Europea, 2018). Mientras tanto, en los Estados Unidos, el Departamento de Energía (DOE) ha promovido el uso y aplicación del AT como uno de los métodos más eficientes para (CE) en edificaciones residenciales y comerciales (U.S. Department of Energy, 2017).

A esta descripción, se resalta la importancia de los entes que promueven el consciente crecimiento urbano. En las edificaciones se ha demostrado que el uso de materiales locales en la envolvente de los edificios puede reducir hasta un 82 % del CE total en comparación con los sistemas de construcción contemporáneos. A pesar de este beneficio, la construcción tradicional ha disminuido significativamente en las últimas décadas, especialmente en los países de América Latina, que han adoptado nuevos sistemas de construcción y han desplazado los sistemas convencionales lo que ha permitido la construcción de viviendas con envolventes más ligeras y de menor grosor. En este mismo ámbito, Ozel (2012) ha observado que, al aplicar un espesor de aislamiento óptimo en una mampostería, el consumo anual de combustible y las emisiones reducen entre un 68 % y un 89,5 %, dependiendo de los materiales de aislamiento. De modo similar, un estudio ha demostrado que al reducir el espesor del aislamiento se puede alcanzar un ahorro de energía del 3,72 % y el 3,68 % en diferentes épocas del año (Fellah et al., 2024).

Esta aplicación de los aislantes mejora en buena medida el rendimiento energético; sin embargo, cabe recalcar que la correcta configuración depende del lugar en el que se va a introducir el aislante.

En Latinoamérica, el uso del (AT) es menos habitual debido a factores económicos y a la falta de normativas obligatorias y estrictas. No obstante, estudios realizados en Brasil y México han demostrado que la aplicación de AT puede mejorar significativamente los beneficios energéticos, económicos y ambientales en climas cálidos y templados (Cuerda et al., 2019). Un estudio reciente realizado en la ciudad de Quito, Ecuador con características climáticas similares a las de Cuenca, Ecuador, demostró que el uso de aislantes térmicos en muros de ladrillo puede reducir el CE entre un 20 % y un 40 % (Paredes et al., 2020). En un ámbito similar, el estudio realizado por Torres-Quezada et al. (2022), a través de un análisis experimental aplicado a la ciudad de Cuenca, Ecuador permitió analizar y verificar cómo los diferentes sistemas constructivos pueden variar el (CE) de distintas viviendas en diferentes épocas.

El clima andino de la ciudad de Cuenca, Ecuador presenta desafíos climáticos únicos para la eficiencia energética en edificaciones debido a su variabilidad térmica diaria y estacional. Esta ciudad, se ubica a una altitud de aproximadamente 2,560 msnm, Cuenca experimenta fluctuaciones significativas de temperatura entre el día y la noche, con diferencias que pueden alcanzar los 15°C en un solo día (INAMHI, 2020). Estas condiciones exigen un CE considerable casi en siempre para calefacción y muy pocas veces para refrigeración, esto dependerá de la época del año. Aunque, se haya alcanzado el confort deseado, este consumo trae consigo el incremento de la demanda energética de las viviendas y, por ende, sus costos operativos. Es importante puntualizar que la falta de un AT adecuado en las edificaciones de la ciudad de Cuenca agrava este problema, ya que muchas viviendas están diseñadas sin considerar las necesidades energéticas derivadas de las condiciones climáticas locales. Esto se traduce en un mayor consumo de energía, lo que no solo afecta la economía de los hogares, sino que también contribuye al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Ramírez & Pérez, 2019). El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto que tiene el uso del aislamiento en el CE de las edificaciones de diferentes periodos constructivos en la región andina del Ecuador.

Se planteo la hipótesis sobre la factibilidad de optimizar el CE en las condiciones locales de la ciudad de Cuenca mediante simulaciones de diferentes tipos de aislantes térmicos en 40 viviendas.

2 MARCO TEÓRICO

La eficiencia energética en las edificaciones es fundamental para reducir el consumo de recursos y minimizar el impacto ambiental. La implementación de estrategias pasivas o activas de eficiencia energética puede disminuir significativamente los costos operativos y las emisiones de gases de efecto invernadero. En ese contexto, la eficiencia energética se ha convertido en una prioridad global, impulsada

por el cambio climático y la creciente demanda de recursos (Lützkendorf & Lorenz, 2017). Estudios realizados han demostrado que la adopción de técnicas de eficiencia energética puede reducir considerablemente el consumo de energía en un 20 % a 30 %, dependiendo de las condiciones iniciales y las medidas adoptadas (Pérez-Lombard et al., 2008). Por lo tanto, es imperativo que tanto las políticas públicas como las prácticas de construcción se alineen con estas estrategias para maximizar los beneficios de la eficiencia energética en la construcción de las edificaciones.

La región andina enfrenta desafíos climáticos únicos que influyen en el consumo energético (CE). Las diversas variaciones en altitud y temperatura repercuten en la demanda de calefacción y refrigeración según el lugar de emplazamiento, lo que ocasiona que las soluciones de eficiencia energética sean esenciales para el confort y la sostenibilidad en estas regiones (Morales & Palma, 2017). Esto plantea, la necesidad de desarrollar enfoques claros y adaptados a cada contexto que no solo consideren la eficiencia energética, sino también el bienestar de sus habitantes.

Entre soluciones energéticas, está el AT que hace referencia a los materiales y técnicas que minimizan la transferencia de calor entre el interior y el exterior de una vivienda. Un correcto aislamiento puede no solo mejorar el confort interior, sino también reducir significativamente el consumo de energía para calefacción y refrigeración. Según ASHRAE (2019), el uso de ladrillo hueco con aislamiento puede reducir la demanda de calefacción de un 15 % a un 25 % frente al uso de ladrillo macizo sin aislamiento (Hossain & Saha, 2014). La adopción de soluciones de aislamiento efectivas, se presenta tanto como estrategia no solo para mejorar el rendimiento energético, sino también para aumentar la resiliencia de los edificios ante condiciones climáticas de latitudes bajas.

Las teorías y modelos de eficiencia energética han sido primordiales para examinar el consumo de energía y optimizar el diseño de edificios. Así mismo, las simulaciones digitales se han convertido en herramientas clave para analizar cómo diferentes medidas de eficiencia impactan al rendimiento energético de los edificios (Wong & Li, 2010). Por ejemplo, en un estudio se ha demostrado que el uso de AT puede reducir el CE en un 10 % y 20 % en viviendas simuladas digitalmente, frente a modelos sin aislamiento. Asimismo, el software DesignBuilder es útil para determinar el impacto de diferentes tipos de aislantes (Boake & Duncan, 2018). Estas herramientas de simulación energética garantizan que los edificios se alineen con la meta de lograr un impacto positivo en la eficiencia energética.

La eficiencia energética en edificaciones no es solo una cuestión técnica, sino una necesidad primordial ante los desafíos ambientales y económicos. Hoy en día implementar estrategias de eficiencia energética es crucial en la reducción del consumo de recursos especialmente en un contexto global cada vez más consciente del cambio climático y la disminución de recursos. La responsabilidad y capacidad de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y costos operativos resalta la importancia de encaminar hacia prácticas sostenibles en la construcción y diseño de edificaciones.

En la región Andina, los específicos desafíos climáticos, como las variaciones en altitud y temperatura, hacen que las soluciones de eficiencia energética sean más relevantes. Estos factores influyen directamente en la demanda de calefacción y refrigeración, lo que resalta la necesidad de adaptar las estrategias de eficiencia energética al rendimiento energético de los edificios.

El AT sirve como una solución eficaz a estos problemas. La efectividad de los materiales aislantes para minimizar el intercambio térmico entre el interior y exterior de una vivienda mejora el confort interior y tiene un impacto significativo traduciéndose en ahorro energético y económico.

De manera resumida, la eficiencia energética y el AT no son solo conceptos técnicos, sino elementos clave para avanzar hacia un futuro más sostenible y eficiente. El adoptar estas prácticas no solo beneficia a los habitantes, además de la reducción de costos y mejor el confort térmico, sino que también contribuye a la protección del medio ambiente y la preservación de recursos para las generaciones futuras.

3 METODOLOGÍA

El presente estudio es de carácter experimental realizado mediante simulaciones digitales utilizando el software DesignBuilder y su motor de cálculo EnergyPlus integrados con el archivo climático ECU_AZ_Cuenca-Lamar.Intl 2004-2018. El archivo antes mencionado ha sido actualizado con datos meteorológicos de la ciudad de estudio Cuenca-Ecuador. La metodología propuesta se enfoca en el análisis y la evaluación del (CE) de un conjunto de viviendas. A través de las simulaciones se busca cuantificar las demandas energéticas de las viviendas en función de la implementación del aislante térmico en las envolventes de un conjunto de viviendas.

3.1 SELECCIÓN DE MUESTRAS

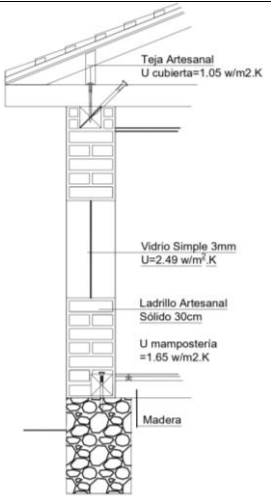
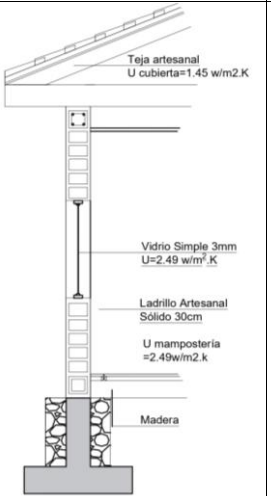
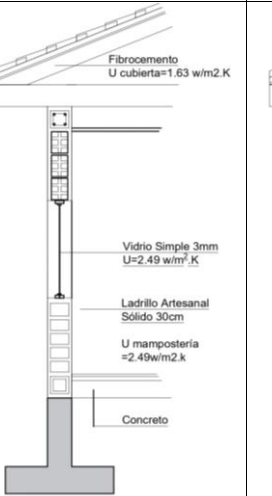
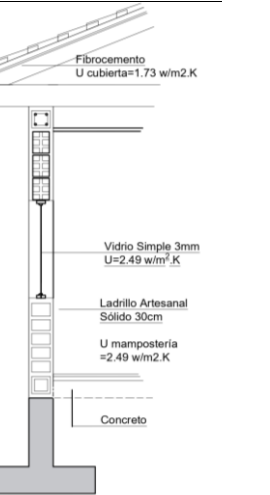
Para ejecutar las simulaciones digitales, se utilizaron las muestras existentes de una base de datos realizada por (Torres-Quezada et al., 2024). Estas muestras consisten en un conjunto de 10 viviendas residenciales agrupadas en cuatro periodos de diferentes épocas que se subdividen de la siguiente manera: Periodo P1 (1980-1990), P2 (1991-2000), P3 (2001-2010) y P4 (2011,2020).

3.1.1 Estado actual

Las viviendas de todos los periodos constan de ventanas compuestas de vidrios simples con espesor (e)=3 mm. La mayoría de viviendas de P1 están compuestas por mamposterías de ladrillo artesanal sólido (e)=30 cm, pisos mixtos de concreto-madera, cubiertas de teja artesanal-fibrocemento. Mientras

que las viviendas del P2 constan de mamposterías de ladrillo macizo de (e)=15 cm, pisos de concreto-madera y cubiertas de teja artesanal-fibrocemento. De modo similar las viviendas del periodo P3, se componen de mamposterías combinadas entre ladrillo sólido e=15 cm y ladrillo hueco (e)=10 cm, pisos en su mayoría de concreto y una losa de cubierta de concreto-fibrocemento. Finalmente, las viviendas del P4 están conformadas por mamposterías combinadas de ladrillo sólido (e)=15 cm y ladrillo hueco (e)=10 cm, pisos y losas de cubiertas de concreto, ver Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de sistemas constructivos sin AT según sus periodos.

| P1 | P2 | P3 | P4 |
|--|---|--|--|
|  <p>Teja Artesanal U cubierta=1.05 w/m².K</p> <p>Vidrio Simple 3mm U=2.49 w/m².K</p> <p>Ladrillo Artesanal Sólido 30cm U mampostería =1.65 w/m².K</p> <p>Madera</p> |  <p>Teja artesanal U cubierta=1.45 w/m².K</p> <p>Vidrio Simple 3mm U=2.49 w/m².K</p> <p>Ladrillo Artesanal Sólido 30cm U mampostería =2.49w/m².k</p> <p>Madera</p> |  <p>Fibrocemento U cubierta=1.63 w/m².K</p> <p>Vidrio Simple 3mm U=2.49 w/m².K</p> <p>Ladrillo Artesanal Sólido 30cm U mampostería =2.49w/m².k</p> <p>Concreto</p> |  <p>Fibrocemento U cubierta=1.73 w/m².K</p> <p>Vidrio Simple 3mm U=2.49 w/m².K</p> <p>Ladrillo Artesanal Sólido 30cm U mampostería =2.49 w/m².K</p> <p>Concreto</p> |

Fuente: Elaboración propia.

3.2 CONFIGURACIONES MORFOLÓGICAS A LA SELECCIÓN DE MUESTRAS

Previo a realizar las simulaciones digitales se han conservado las configuraciones morfológicas existentes. Sin embargo, se realizaron nuevas configuraciones materiales en la envolvente de todas las viviendas en todos los periodos. Las configuraciones materiales están presentes en las ventanas, mamposterías, pisos y cubiertas. Estas configuraciones consisten en incorporar una capa de (AT) a todas sus envolventes. Al incorporar el AT, se mantuvo en consideración el factor U máximo (Transmitancia Térmica) en el espacio habitable-climatizado, de acuerdo su montaje máximo según indica la NEC-EFICIENCIA ENERGÉTICA en Edificaciones Residenciales EE. (2024), ver Tabla 2.

Tabla 2. Requisitos de la envolvente para la zona climática 3.

| Elementos opacos | Habitable | |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| | Climatizado | |
| | Montaje Máximo | Valor Min. R de aislamiento |
| Techos | U-0.273 | R-3.5 |
| Paredes, sobre nivel del terreno | U-0.592 | R-1.7 |
| Pisos | U-0.496 | R-1.5 |
| Ventanas | Transmitancia máxima | Montaje máximo SHGC |
| Área traslúcida vertical <45° | U-3.69 | SHGC-0.25 |

Fuente: NEC-EFICIENCIA ENERGÉTICA en Edificaciones Residenciales EE, 2024.

Con esta configuración, se obtuvieron los nuevos valores del factor U con aislante térmico. Este proceso ha sido realizado con el objetivo de visualizar gráficamente la factibilidad del AT en el CE de las viviendas. De este modo, la nueva configuración para las viviendas de los periodos P1, P2, P3, y P4, ha sido la siguiente. En las envolventes: pisos, cubiertas de todas las viviendas se utiliza un AT de Poliestireno Expandido (EPS), mientras que las ventanas mantendrán su misma configuración inicial (vidrio simple claro, (e)=3 mm).

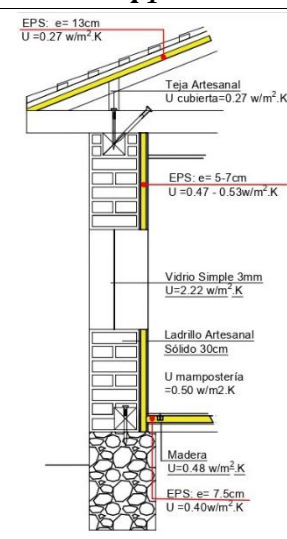
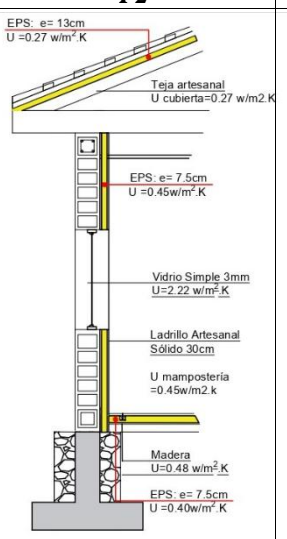
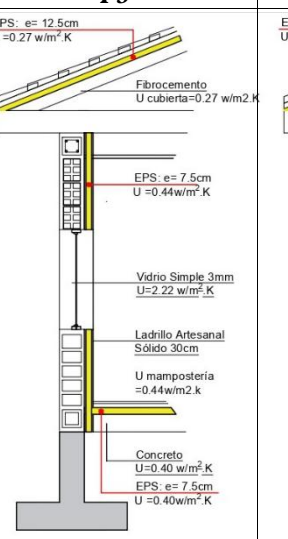
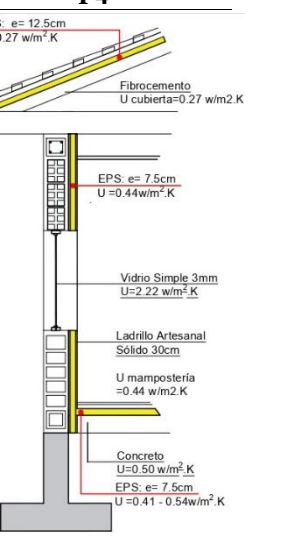
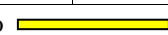
En las viviendas de P1, el AT agregado a las mamposterías varía sus espesores entre (e)=5 y 7 cm con un factor U-0.47 y U-0.53, a esto se añadió dos capas de placa de yeso laminado (PYT) (e)= 1 cm. En las cubiertas, se adicionó una capa de AT de EPS (e)=13 cm y una cámara de aire (e)= 20 cm con un factor total U-0.27 y dos capas de PYT (e)=1 cm.

Para las viviendas de P2, el AT es de EPS con un espesor de 7.5 cm en las mamposterías con un factor U-0.45, en las cubiertas un AT de EPS (e)= 12.5 cm y en gran parte de las viviendas se les agregó una cámara de aire (e)= 20 cm con un factor U-0.27.

En tanto que las viviendas de P3 las mamposterías tienen un AT con (e)= 7.5 cm con un factor U-0.44, mientras que las cubiertas están configuradas con AT (e)= 12.5 cm y una cámara de aire de (e)= 20 cm con un factor U-0.27 y en los pisos el AT es e=7.5 cm y un factor U-0.40.

Finalmente, en las mamposterías de las viviendas del P4 se aplicó un AT con (e)= 7.5 cm factor U=0.44, en tanto que las cubiertas el AT es de (e)= 12.5 cm más una cámara de aire con una U=0.27, finalmente el AT en los suelos constan de (e)= 7.5 cm y un factor que varía entre U=0.41 y 0.54, ver Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de sistemas constructivos con AT según sus periodos.

| P1 | P2 | P3 | P4 |
|--|--|---|--|
|  <p>EPS: e= 13cm U=0.27 w/m².K</p> <p>Teja Artesanal U cubierta=0.27 w/m².K</p> <p>EPS: e= 5-7cm U=0.47 - 0.53w/m².K</p> <p>Vidrio Simple 3mm U=2.22 w/m².K</p> <p>Ladrillo Artesanal Sólido 30cm U mampostería =0.50 w/m².K</p> <p>Madera U=0.48 w/m².K</p> <p>EPS: e= 7.5cm U=0.40w/m².K</p> |  <p>EPS: e= 13cm U=0.27 w/m².K</p> <p>Teja artesanal U cubierta=0.27 w/m².K</p> <p>EPS: e= 7.5cm U=0.45w/m².K</p> <p>Vidrio Simple 3mm U=2.22 w/m².K</p> <p>Ladrillo Artesanal Sólido 30cm U mampostería =0.45w/m².K</p> <p>Madera U=0.48 w/m².K</p> <p>EPS: e= 7.5cm U=0.40w/m².K</p> |  <p>EPS: e= 12.5cm U=0.27 w/m².K</p> <p>Fibrocemento U cubierta=0.27 w/m².K</p> <p>EPS: e= 7.5cm U=0.44w/m².K</p> <p>Vidrio Simple 3mm U=2.22 w/m².K</p> <p>Ladrillo Artesanal Sólido 30cm U mampostería =0.44w/m².K</p> <p>Concreto U=0.40 w/m².K</p> <p>EPS: e= 7.5cm U=0.40w/m².K</p> |  <p>EPS: e= 12.5cm U=0.27 w/m².K</p> <p>Fibrocemento U cubierta=0.27 w/m².K</p> <p>EPS: e= 7.5cm U=0.44w/m².K</p> <p>Vidrio Simple 3mm U=2.22 w/m².K</p> <p>Ladrillo Artesanal Sólido 30cm U mampostería =0.44 w/m².K</p> <p>Concreto U=0.50 w/m².K</p> <p>EPS: e= 7.5cm U=0.41 - 0.54w/m².K</p> |
| <p>Aislante térmico </p> | | | |

Fuente: Elaboración propia.

3.3 ETAPAS DE SIMULACIÓN

Luego de haber realizado las configuraciones en los distintos materiales, las simulaciones se han dividido en dos etapas: la primera etapa consistió en realizar simulaciones de los cuatro periodos con las nuevas configuraciones realizadas tanto en las mamposterías, pisos y cubiertas, mientras que la segunda etapa se simuló en los mismos cuatro periodos, pero con las configuraciones realizadas únicamente en las ventanas.

De este modo y mediante la metodología descrita anteriormente, los resultados obtenidos se compararán con resultados de la investigación de (Torres-Quezada et al., 2024), en los cuales el autor no ha empleado ningún tipo de aislante térmico a las envolventes de todas las viviendas.

4 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados anuales de las 40 edificaciones analizadas para cada periodo. La Figura 1, muestra estos resultados indicando el valor del CE de cada una de las muestras.

Se ha realizado un análisis gráfico comparativo entre los resultados obtenidos por Torres-Quezada et al. (2024), representados en la Figura 1(a), que muestra los datos de las muestras sin ningún tipo de aislamiento térmico (AT), y los resultados obtenidos en el presente estudio, mostrados en la Figura 1(b), que presenta los resultados del mismo conjunto de viviendas, pero con la aplicación de AT (EPS, espuma de poliuretano).

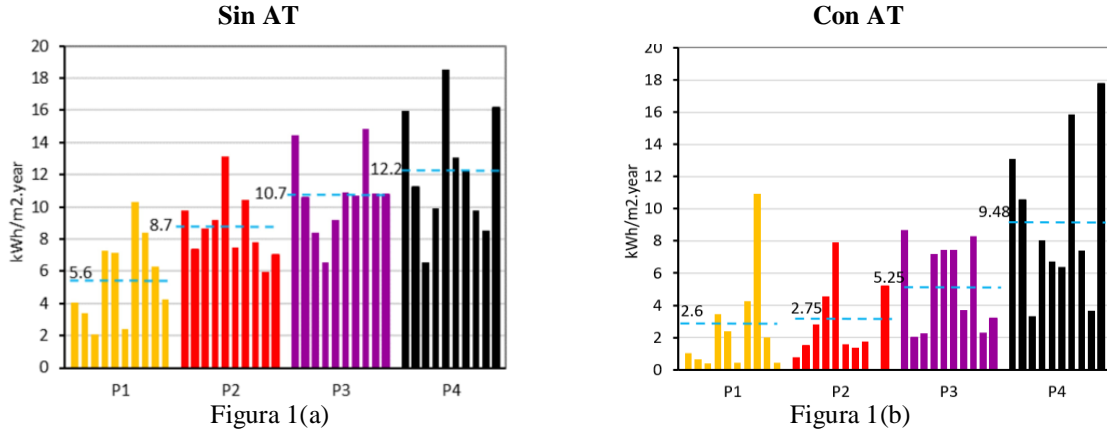
4.1 RESULTADOS EN PISOS, MAMPOSTERÍAS Y CUBIERTAS

La Figura 1(b) muestra una reducción en el consumo energético (CE) en la mayoría de las viviendas tras la aplicación del aislamiento térmico (AT). Esta disminución es más notable en las viviendas del periodo P2, con una reducción de 5.95 kWh/m². En el periodo P3, pasa de 10.7 kWh/m² a 5.25 kWh/m², lo que representa una reducción de 5.45 kWh/m². Por su parte, las viviendas del periodo P1 presentan una reducción total de 3 kWh/m², mientras que las del periodo P4 muestran la menor disminución entre todos los periodos, con una reducción de 2.72 kWh/m². En general, estos resultados indican que el periodo P2 registra la mayor reducción en el CE, mientras que el periodo P4 presenta la menor.

En la Figura 1(a) (Sin AT), se observa que la demanda energética ha ido en aumento progresivamente desde P1=5.6 kWh/m² hasta el periodo P4=12.2 kWh/m², con una oscilación de 6.6

kWh/m², mientras que la Figura 1(b) (Con AT), el consumo de energía también muestra un aumento progresivo y la oscilación es superior con un CE de 6.88 kWh/m².

Figura 1. Análisis comparativo del consumo de energía Con y Sin AT en pisos, mamposterías y cubiertas.

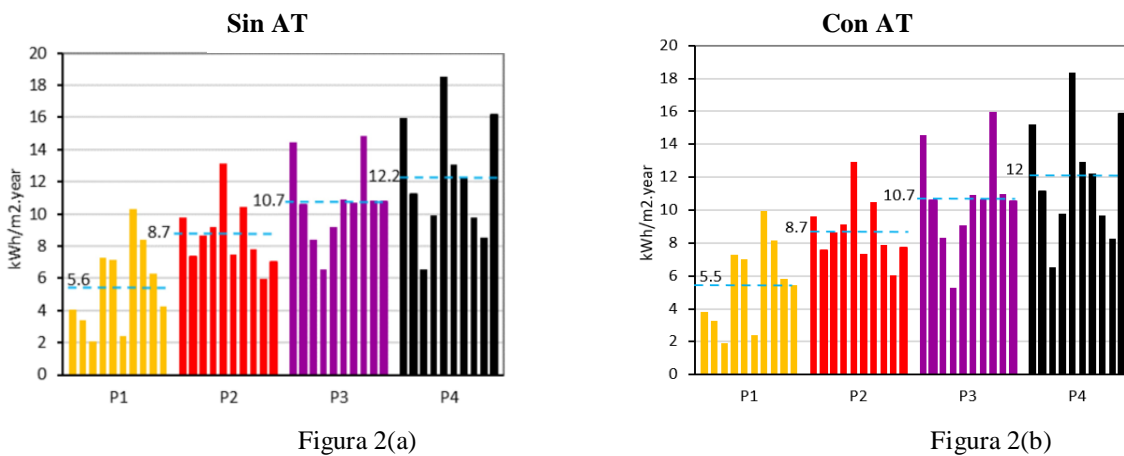


Fuente: Elaboración propia.

4.2 RESULTADOS EN VENTANAS

Luego de la aplicación del aislamiento térmico (AT), las viviendas de los periodos P1 y P4 muestran las reducciones en el consumo energético (CE), como se observa en la Figura 2(a) y la Figura 2(b). La mayor disminución se presenta en el periodo P4, con un valor de 12 kWh/m² (Con AT) Figura 2 (a) frente a 12.2 kWh/m² (Sin AT) Figura 2 (b), lo que representa una variación de 0.2 kWh/m². Por su parte, la menor reducción corresponde al periodo P1, con una oscilación de 0.1 kWh/m². Finalmente, en los periodos P2 y P3, los valores del CE se mantienen estables tanto con como sin la aplicación del AT.

Figura 2. Análisis comparativo del consumo de energía Con y Sin AT en ventanas.



Fuente: Elaboración propia.

5 DISCUSIONES

Los resultados presentados en la Figura 1(b) muestran una reducción significativa en el consumo energético (CE) en la mayoría de las viviendas tras la aplicación del aislamiento térmico (AT). Esta disminución es más notoria en las viviendas del periodo P2, con una reducción de 5.95 kWh/m², seguida del periodo P3 con una disminución de 5.45 kWh/m². Estos datos sugieren que el periodo P2 es el que más se beneficia de la intervención con AT, lo cual podría estar vinculado a sus características constructivas y materiales de mayor inercia térmica.

Al observar los datos del CE en la Figura 1(a) (Sin AT), se aprecia un incremento progresivo desde el periodo P1 hasta el P4, con una oscilación de 6.6 kWh/m². Un comportamiento similar se observa en la Figura 1(b) (Con AT), donde la oscilación incluso aumenta ligeramente a 6.88 kWh/m². Esto indica que, aunque el aislamiento térmico logra reducir el CE en términos absolutos, la tendencia general de aumento en la demanda energética a lo largo del tiempo se mantiene. Esta continuidad sugiere que el impacto del AT se ve condicionado por otros factores como la morfología arquitectónica, el tipo de materiales y la relación entre superficie envolvente, que permanecen constantes a lo largo de los periodos.

El periodo P2 destaca con la mayor reducción (5.95 kWh/m²), posiblemente debido a que sus viviendas están construidas con materiales de alta masa térmica como ladrillo artesanal sólido y macizo, Ver Tabla 3, lo que favorece la retención del calor interno. Todo lo contrario sucede con las viviendas del periodo P4 caracterizadas por materiales más livianos, mayor superficie vidriada y menor espesor de muros que presentan la menor reducción (2.72 kWh/m²), lo cual limita la efectividad del AT aplicado.

Comparando estos resultados con estudios previos, se evidencia que el ahorro energético promedio del presente estudio (alrededor del 10 %) es moderado en relación con los datos de Pérez-Lombard et al. (2008), quienes reportan reducciones del 20–30 % mediante la implementación de técnicas de eficiencia energética. Asimismo, aunque el mayor ahorro observado en este estudio (9 % en las viviendas de P2) es consistente con el uso de materiales de alta inercia térmica, se encuentra por debajo de la reducción del 17 % reportada por Hossain & Saha (2014) en edificaciones construidas con ladrillo macizo.

Finalmente, la Figura 2(a) y (b) indican que el aislamiento en ventanas no aporta un beneficio significativo en la reducción del CE. Esto se debe a varios factores, como las pérdidas de energía a través de otros elementos de la envolvente y las condiciones climáticas frías. En estos entornos, el vidrio doble ayuda a disminuir las pérdidas de calor en invierno, sin embargo, si las viviendas dependen de la radiación solar para calentarse de forma pasiva, el doble vidrio puede reducir la ganancia térmica, aumentando así la demanda de calefacción.

6 CONCLUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que la aplicación de aislamiento térmico (AT) en las viviendas de Cuenca ha demostrado ser casi nula en la reducción del consumo energético (CE), aunque con variaciones poco significativas entre los distintos periodos.

Se observó que las viviendas del periodo P2 presentaron la mayor reducción en el CE, con un ahorro de 5.95 kWh/m², mientras que las viviendas del periodo P4 mostraron la menor reducción con apenas 2.72 kWh/m². Este patrón resalta la influencia que los materiales constructivos y las características arquitectónicas tienen sobre la efectividad del AT, siendo más evidente en las viviendas con mayor masa térmica, como las del periodo P2.

Además, se demostró digitalmente que la implementación de AT en las superficies como pisos, mamposterías y cubiertas resultó en un mayor ahorro energético (promedio anual de 5 kWh/m²), en comparación con su aplicación en ventanas, que solo produjo una disminución de 0.2 kWh/m². Este dato subraya la mayor efectividad del AT aplicado a las envolventes sólidas en lugar de a las ventanas.

En cuanto a la viabilidad de la implementación de AT, los resultados indican que este tipo de intervención es tanto técnica como económicamente viable, con beneficios a largo plazo para los ocupantes. Sin embargo, se destaca que el impacto en la demanda energética sigue siendo limitado, lo que sugiere que se deben explorar alternativas complementarias para optimizar la eficiencia energética de las viviendas.

Investigaciones futuras podrían centrarse en el uso de otros tipos de aislantes térmicos, así como en un análisis más detallado del impacto de las infiltraciones y otros factores no considerados en este estudio, como la orientación y el uso de energías renovables.

AGRADECIMIENTO

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación: Ciudad, Ambiente, y Tecnología (CAT), y Sistemas Embebidos y Visión Artificial en Ciencias, Arquitecturas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), al Laboratorio de Robótica, Automatización, Sistemas Inteligentes y Embebidos (RobLab) por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

REFERENCIAS

- Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R. F., de' Rossi, F., & Vanoli, G. P. (2014). Energy refurbishment of existing buildings through the use of phase change materials: Energy savings and indoor comfort in the cooling season. *Applied Energy*, *113*, 990–1007. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.045>
- ASHRAE. (2019). *Fundamentals of HVAC*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Boake, T. M., & Duncan, C. (2018). *Energy performance of buildings: A guide to optimizing design with simulation tools*. Elsevier.
- Comisión Europea. (2018). *Energy Performance of Buildings Directive*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://doi.org/doi/10.2860/61348>
- Cuerda, E., Guerra-Santin, O., Sendra, J. J., & Neila González, Fco. J. (2019). Comparing the impact of presence patterns on energy demand in residential buildings using measured data and simulation models. *Building Simulation*, *12*(6), 985–998. <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0539-z>
- Fellah, M., Ouhaibi, S., Belouaggadia, N., Mansouri, K., & SEBAIBI, N. (2024). Enhancing building energy efficiency across diverse climatic zones in marocco through optimized eco-friendly insulation thickness with air gap. *Energy Reports*, *12*, 1551–1565. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.07.040>
- Hossain, M. M., & Saha, B. K. (2014). "Thermal performance of hollow brick wall: a review". *Energy and Buildings*, *82*, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.027>
- INAMHI. (2020). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Climatología y Variabilidad Climática En Cuenca; Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <http://www.inamhi.gob.ec>.
- Lützkendorf, T., & Lorenz, D. (2017). "Energy efficiency in buildings: action is the key". *Sustainable Buildings*, *9*(2), 123-129.
- Morales, M., & Palma, J. (2017). "Climate change impacts on energy demand in the Andean region". *Environmental Science & Policy*, *77*, 9-18.
- Ozel, M. (2012). Cost analysis for optimum thicknesses and environmental impacts of different insulation materials. *Energy and Buildings*, *49*, 552–559. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.002>
- Paredes, M., García, A., & Torres, J. (2020). Impacto del uso de aislantes térmicos en muros de ladrillo en la eficiencia energética de edificaciones en Quito. *Revista de Construcción Sustentable*.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). "A review on buildings energy consumption information". *Energy and Buildings*, *40*(3), 394-398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Ramírez, L., & Pérez, M. (2019). Impacto del clima andino en la eficiencia energética de edificaciones en Cuenca. *Energía y Sostenibilidad*, *13*(7).
- Torres-Quezada, J., Isalgue-Buxeda, A., Pages-Ramon, A., & Lopez-Besora, J. (2024). Operational and embodied energy of residential buildings in the Andean region between 1980 and 2020. *Energy and Buildings*, *325*, 114982. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114982>

- Torres-Quezada, J., Torres Avilés, A., Isalgue, A., & Pages-Ramon, A. (2022). The evolution of embodied energy in andean residential buildings. Methodology applied to Cuenca-Ecuador. *Energy and Buildings*, 259, 111858. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111858>
- U.S. Department of Energy. (2017). *DE*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://doi.org/doi/10.2860/61348>
- Wong, N. H., & Li, Y. (2010). "Architectural design and its impact on the energy performance of buildings". *Energy*, 35(6), 5041-5048. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.003>