

Reducción de la Demanda Energética de un Edificio Comercial Mediante la Selección Óptima del Aislamiento Térmico

Reduction of the Energy Demand of a Commercial Building through the Optimal Selection of Thermal Insulation

Carlos Samaniego-Ojeda¹ <https://orcid.org/0000-0001-9628-9790>,
José Cuenca-Granda¹ <https://orcid.org/0000-0003-1049-0958>, Raúl Chávez-Romero¹
<https://orcid.org/0000-0001-6931-855X>

¹Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, Loja, Ecuador
carlos.samaniego@unl.edu.ec, jose.cuenca@unl.edu.ec,
raul.a.chavez@unl.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2025/02/06
Aceptado: 2025/10/02
Publicado: 2025/12/15

Resumen

El desempeño de la envolvente térmica en las construcciones desempeña un papel crucial en el consumo de energía empleado en la calefacción y refrigeración, en el bienestar de las personas, así como en los costos asociados a su instalación y mantenimiento, especialmente en regiones con climas extremos; sin embargo, la selección del espesor óptimo representa un desafío para los proyectistas, ya que, en determinadas situaciones, a medida que se incrementa el espesor del aislamiento térmico, la demanda de calefacción se reduce, mientras que la de refrigeración tiende a aumentar. Este estudio se enfocó en la determinación de los espesores óptimos del aislamiento en un edificio hipotético de 1200 m² situado en Salamanca, España, utilizando el software EnergyPlus para realizar una simulación anual, donde se tomó en consideración aspectos técnicos y económicos. Para el desarrollo de este trabajo, se establecieron dos escenarios. En el primero, se variaron independientemente los espesores del aislamiento de poliestireno expandido (EPS) en el suelo, la cubierta y las paredes, con valores que oscilaron entre 0.01 m y 0.08 m. En el segundo escenario, los espesores se ajustaron uniformemente en estas áreas. Los resultados mostraron que la segunda opción fue la más adecuada, con un período de recuperación (payback) de 7.9 años. Estos análisis consideraron parámetros climáticos específicos, condiciones interiores detalladas y las cargas térmicas

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones.

Como citar: Samaniego-Ojeda, C., Cuenca-Granda, J. & Chávez-Romero, R. (2025). Reducción de la Demanda Energética de un Edificio Comercial Mediante la Selección Óptima del Aislamiento Térmico. *Revista Tecnológica - Espol*, 37(2), 87-99. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1280>

correspondientes, ofreciendo resultados que permiten al usuario la toma de decisiones informadas respecto al diseño y financiamiento de la envolvente térmica de edificaciones.

Palabras clave: climatización, EnergyPlus, eficiencia energética, ahorro energético, optimización energética.

Abstract

The performance of the thermal envelope in buildings plays a crucial role in the energy consumption used for heating and cooling, in the well-being of occupants, as well as in the costs associated with its installation and maintenance, especially in regions with extreme climates. However, selecting the optimal thickness represents a challenge for designers since, in certain situations, as the thickness of the thermal insulation increases, the heating demand decreases while the cooling demand tends to increase. This study focused on determining the optimal insulation thicknesses in a hypothetical 1200 m² building located in Salamanca, Spain, using the EnergyPlus software to perform an annual simulation, where technical and economic aspects were considered. For the development of this work, two scenarios were established. In the first scenario, the thicknesses of expanded polystyrene (EPS) insulation in the floor, roof, and walls were independently varied, with values ranging between 0.01 m and 0.08 m. In the second scenario, the thicknesses were adjusted uniformly in these areas. The results showed that the second option was the most suitable, with a payback period of 7.9 years. These analyses considered specific climatic parameters, detailed indoor conditions, and corresponding thermal loads, offering results that enable informed decision-making regarding the design and financing of building thermal envelopes.

Keywords: HVAC, EnergyPlus, energy efficiency, energy savings, energy optimization.

Introducción

Uno de los principales propósitos de los sistemas de climatización es proveer de un ambiente térmicamente confortable (Lawrence & Keen, 2024). El confort térmico afecta de manera directa a los ocupantes de los edificios al influir en el bienestar y productividad de las personas (Yang et al., 2024); sin embargo, se debe considerar que la refrigeración y calefacción de espacios comerciales hacen un uso extensivo de la energía al requerir operar grandes superficies, por lo que constituye un desafío global suministrar condiciones térmicas agradables con un consumo racional de estos sistemas.

Las estrategias más empleadas para mejorar la eficiencia energética en los sistemas de climatización de edificios son dos. La primera es mejorar la eficiencia de los equipos y alimentarlos con fuentes provenientes de energías renovables; y, la segunda, es una estrategia pasiva que consiste en reducir la demanda mediante el diseño adecuado de edificios de acuerdo con las condiciones climáticas locales, donde la envolvente térmica permite mantener el confort al evitar las fluctuaciones de las condiciones externas (Bordoloi & Das, 2024). Por estas razones, las medidas de eficiencia energética deben ser consideradas desde la concepción del diseño del edificio, ya que estas soluciones pueden incorporarse con la participación y colaboración de los propietarios, arquitectos e ingenieros (Amende et al., 2021). Hacerlo en etapas posteriores, cuando el edificio ya se encuentra en funcionamiento, conllevaría desafíos y costos adicionales.

En 1993 se hizo oficial el principio de Arquitectura Sostenible por la Unión Internacional de Arquitectos para definir el diseño de un espacio arquitectónico, reduciendo los impactos en el medio ambiente, y aprovechando eficientemente los recursos presentes en

la naturaleza (Andrade Cedillos & Benítez Lara, 2009); es decir, este tipo de arquitectura se basa en la utilización de las condiciones del medio ambiente y materiales desde la planificación hasta la construcción y mantenimiento de una edificación (Alvear et al., 2016). Además de los materiales que componen la envolvente térmica, otras variables o estrategias de diseño de una arquitectura sostenible consideran la orientación de la edificación para aprovechar las horas de luz solar, sistemas de climatización natural como cubiertas verdes, generación de energía eléctrica con materiales fotovoltaicos, entre otras (Esteves et al., 2018).

Como se ha manifestado, dentro de una arquitectura sostenible la envolvente térmica en los edificios juega un papel fundamental hacia la reducción del consumo energético (Yu et al., 2009); además de prevenir condensaciones interiores y mejorar el aislamiento acústico (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2012), aumenta la sensación de confort percibida por los usuarios. Algunas investigaciones han demostrado que el aislamiento térmico en la envolvente de edificaciones puede reducir entre 40% a 60% el consumo de energía cada año (Mercado & Barea, 2019).

A nivel mundial, la calefacción y la refrigeración representan más del 30% de toda la energía consumida en los edificios, llegando al 50% en los países de clima frío; en el subsector residencial, supera el 60% (International Energy Agency [IEA], 2013).

Ante este contexto, es recomendable emplear un alto nivel de aislamiento en climas fríos, aunque se debe tener precaución en las zonas cálidas (Yu et al., 2008); por ejemplo, los edificios de oficinas ubicados en regiones cálidas enfrentan considerables ganancias térmicas de calor que no pueden ser eliminadas fácilmente cuando se utilizan altos niveles de aislamiento, lo que aumenta la demanda de refrigeración (Boyano et al., 2013), motivo por el que es necesario alcanzar una solución óptima en cuanto al espesor del aislamiento que permita ahorrar energía y recuperar la inversión en instalación y material en el menor tiempo posible (Al-Tamimi, 2021). El análisis de los consumos energéticos en los edificios es una labor complicada, ya que implica considerar las interacciones entre el edificio, el sistema de climatización y los datos climatológicos. El comportamiento dinámico del clima, las condiciones de funcionamiento del edificio y la presencia de múltiples variables requieren el uso de herramientas computacionales que permitan la simulación de estos factores (Fumo et al., 2010).

En este contexto, se propone una metodología para reducir la demanda energética de un edificio comercial, mediante el uso de la herramienta informática de código abierto EnergyPlus, desarrollada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) (U.S. Department of Energy's [DOE] Building Technologies Office [BTO], n.d.), con el objetivo de evaluar el impacto del espesor del aislamiento térmico del poliestireno expandido (EPS) sobre la demanda, logrando la selección óptima de la envolvente térmica.

Para este propósito, se lleva a cabo, a modo de ejemplo, la simulación anual del consumo energético por calefacción y refrigeración en un edificio hipotético ubicado en la ciudad de Salamanca, con el fin de determinar el espesor óptimo del aislamiento para las condiciones planteadas, considerando la relación entre el consumo de energía y el periodo de recuperación de la inversión (*payback*). Se toman en cuenta únicamente criterios técnicos y económicos, no aspectos normativos. Se proponen dos enfoques: 1) modificando de manera independiente el espesor del aislante en piso, cubierta y paredes para posteriormente identificar los espesores más económicos; y 2) ajustando los espesores de piso, cubierta y paredes de manera proporcional con el fin de determinar el espesor global más apropiado.

Materiales y Métodos

A continuación, se describe en forma general los pasos que se desarrollaron con el software EnergyPlus para la realización de este trabajo.

Creación del modelo del edificio: Se inició con la creación de un modelo detallado del edificio en el software Sketchup, específicamente con el plug in OpenStudio, el cual constituye una interfaz gráfica de EnergyPlus, donde se definió, principalmente, la geometría, la envolvente térmica, los sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), las cargas internas (iluminación, equipos, ocupantes, etc.) y otros parámetros que influyen en el consumo de energía del edificio.

Definición de las condiciones climáticas: Se establecieron las condiciones climáticas de la ubicación del edificio, incorporando datos de las temperaturas exteriores, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar.

Para la simulación anual horaria se usó el archivo de clima proporcionado por el software Energyplus para la ubicación en estudio (ESP_Salamanca.082020_SWEC.epw), el cual proviene de mediciones de condiciones climáticas de cerca de 18 años por cada ubicación.

Configuración de la simulación: Los parámetros de simulación, como la duración del estudio (1 año) y los intervalos de tiempo (horario), se configuraron en esta etapa, determinando cómo se ejecutará la simulación.

Ejecución de la simulación y análisis de resultados: Una vez definido el modelo del edificio y configurada la simulación con los parámetros del caso de estudio, se procedió a ejecutar EnergyPlus para calcular el consumo de energía horario durante el período de simulación (un año típico). A base de esos resultados se procedió a evaluar y tomar decisiones informadas, en este caso, se centró en determinar la opción económica más adecuada.

EnergyPlus utiliza el método de Balance de Calor (Heat Balance) definido por ASHRAE (Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado). La estimación de la carga térmica de un espacio implica calcular un balance de calor conductivo, convectivo y de radiación, para cada superficie de la estancia en estudio y un balance de calor convectivo para el aire ambiente (Spitler, 2014).

Para la ejecución de este trabajo en el software EnergyPlus, fue necesario definir el escenario de estudio, el cual se detalla seguidamente.

Descripción del edificio

Se consideró un edificio de oficinas de un solo ambiente con una superficie total de 1200 m², sus dimensiones fueron de 40 m de largo por 30 m de ancho. El edificio se ubica en un área despejada sin sombreados exteriores y cuenta con dos ventanas y una puerta de vidrio de aproximadamente 20 m² orientada hacia el sur. No se consideraron elementos de sombra, como persianas o cortinas. La altura de las paredes del edificio es de 3 metros, lo que resulta en un área de 400 m².

Ubicación

El edificio estaría situado en Salamanca, España, latitud de 40.95° y longitud de -5.5°. La zona horaria correspondiente es GMT+1, y la altitud del sector es de 795 msnm.

Condiciones externas de diseño

Para realizar la evaluación de las condiciones externas de diseño, se emplearon los siguientes parámetros climáticos típicos para su uso en el sector comercial (oficinas):

Invierno: Se analizó el nivel percentil 99.6% (nivel recomendado para aplicaciones de confort térmico en aplicaciones generales para calefacción), con una temperatura de bulbo seco (TBS) de -5.8°C, humedad coincidente (HUMcoin) de 94.6% y oscilación media diaria (OMD) de 14.1°C. La velocidad promedio del viento fue de 0.9 m/s con una dirección predominante de 90°.

Verano: Se tomó en cuenta el nivel percentil 1% (nivel recomendado para aplicaciones de confort térmico en aplicaciones generales para aire acondicionado) con una TBS de 32°C, temperatura de bulbo húmedo (TBH) de 19.5°C y una OMD de 20.9 °C. La velocidad promedio del viento en verano es de 3.2 m/s con una dirección de 300°. Se consideró la temperatura del terreno igual a la TBS.

Condiciones interiores de diseño

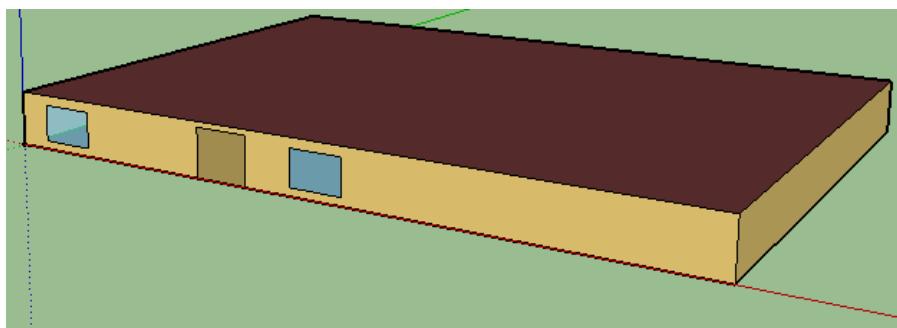
Las condiciones interiores de diseño se establecieron de la siguiente manera: Invierno: Se fijó una TBS de 23°C y una humedad relativa (HR) del 50%; Verano: Se estableció una TBS de 25°C y una HR del 50%.

Aportaciones térmicas

Se realizaron cálculos de aportaciones térmicas tomando en cuenta el horario laboral de 07:00-14:00 y de 17:00 - 20:00 de lunes a sábado. Para ello, se consideró una fracción radiante del 0.3 y una fracción de calor sensible del 0.66, con una carga total de 12000 W.

Figura 1

Representación del edificio en la interfaz gráfica OpenStudio sobre Sketchup con el motor de cálculo de EnergyPlus



Iluminación: Se estableció una carga de iluminación de 12 W/m², generando un total de 14400 W, con una fracción radiante de 0.59.

Equipamiento: La carga de equipamiento se definió en 14.5 W/m², con un total de 1000 W y una fracción radiante de 0.3.

Infiltración: Se determinó una tasa de infiltración de 0.25 renovaciones por hora (ren/h).

Carga por ventilación: Se evaluó con una tasa de ventilación de 0.3 m³/s.

Envolvente térmica: En la Tabla 1 se especifican los materiales de construcción convencionales empleados en la envolvente del edificio.

Tabla 1
Materiales Definidos

Nombre	Rugosidad	Espesor (m)	Conductividad (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)	Absortancia térmica	Absortancia solar	Absortancia visible
Ladrillo 1/2 pie	Medianamente rugoso	0.115	0.991	2170	1000	0.9	0.7	0.7
Mortero	Rugoso	0.01	0.55	1125	1000	0.9	0.7	0.7
EPS Paredes	Medianamente liso	Variable	0.038	30	1000	0.9	0.7	0.7
EPS Suelo	Medianamente liso	Variable	0.038	30	1000	0.9	0.7	0.7
EPS Techo	Medianamente liso	Variable	0.038	30	1000	0.9	0.7	0.7
LH Doble	Medianamente liso	0.06	0.432	930	1000	0.9	0.7	0.7
Enlucido Yeso	Liso	0.01	0.57	1150	1000	0.9	0.7	0.7
Azulejo Cerámico	Medianamente rugoso	0.01	0.55	1125	1000	0.9	0.7	0.7
Hormigón Masa	Rugoso	0.21	1.65	2150	1000	0.9	0.7	0.7

Fuente: Base de datos software Energy Plus.

Se establecieron cuatro capas en la envolvente térmica del edificio, que incluyen la pared exterior, el piso, la cubierta y las ventanas/puertas de vidrio, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2
Capas de la envolvente

Nombre	Pared exterior	Piso	Cubierta	Ventana/puerta vidrio
Material 1	Ladrillo 1/2 pie	Hormigón masa	Azulejo cerámico	Vidrio 6 mm
Material 2	Mortero	EPS piso	Mortero	Aire 6 mm
Material 3	EPS paredes	Mortero	LH doble	Vidrio 6 mm
Material 4	LH doble	Azulejo cerámico	EPS techo	--
Material 5	Enlucido yeso	--	Hormigón masa	--
Material 6	--	--	Enlucido yeso	--

Fuente: Elaboración propia.

Equipos y aislante: Para satisfacer las necesidades de refrigeración y calefacción, se consideró un sistema *multisplit* de aire acondicionado y una caldera de gas natural. Los rendimientos de los equipos (basados en valores medios típicos), los costos de electricidad y combustible (con valores promedio en España), así como las características del aislamiento,

que se basaron en datos del fabricante Weber (Weber Saint-Gobain, n.d.), como se evidencia en la Tabla 3.

Tabla 3

Equipos y costos del aislante

COP Estacional	Rendimiento de caldera	Costo electricidad (€/kWh)	Costo GN (€/kWh)
2.5	0.92	0.124	0.05
Costo aislante EPS			
Espesor (m)	Costo aislamiento (€/m ²)	Costo instalación (€/m ²)	Costo total (€/m ²)
0.01	1.8		7.1
0.02	3.7		9.0
0.03	5.8		11.0
0.04	7.7	5.23	13.0
0.05	9.3		14.6
0.06	11.6		16.8
0.07	13.3		18.6
0.08	15.4		20.7

Fuente: Weber Saint-Gobain, n.d..

Resultados y Discusión

En la Tabla 4 se muestran los resultados de demanda y costos para el edificio sin aislamiento:

Tabla 4

Demandas y Costos: edificio sin aislamiento térmico

Espesor paredes (m)	Espesor suelo (m)	Espesor cubierto (m)	Demandas refrigeración (kWh)	Costo refrigeración (€)	Demandas calefacción (kWh)	Costo calefacción (€)	Costo total demanda (€)
0	0	0	5394	268	123607	6718	6986

Fuente: Elaboración propia.

Escenario 1

En la primera parte de este estudio, empleando el software EnergyPlus, se modificó individualmente el espesor del aislante en diferentes áreas del edificio. Se ajustó el espesor del aislamiento de las paredes, del suelo y de la cubierta de manera separada, con el objetivo de determinar cuáles grosorres ofrecen la mejor combinación de eficiencia energética y economía para cada componente de la envolvente térmica.

Se debe subrayar que, en este contexto particular, no fueron considerados los aspectos normativos, pues el enfoque principal se centra en mejorar la eficiencia energética y en lograr un equilibrio financiero óptimo.

A continuación, se exhiben los resultados derivados de la modificación del espesor del aislante de las tres principales envolventes del edificio, que se extiende desde 1 cm hasta un máximo de 8 cm (Tabla 5).

Tabla 5

Demandas y costos: variación del aislamiento en paredes

Espesor paredes (m)	Espesor suelo (m)	Espesor cubierta (m)	Demandas refrigeración (kWh)	Costo refrigeración (€)	Demandas calefacción (kWh)	Costo calefacción (€)	Costo total demanda (€)	Costo aislamiento (€)	Ahorro (€)	Payback simple (años)
0,01	0	0	5526	274	118920	6463	6737	2828	248	11,4
0,02	0	0	5589	277	117088	6363	6641	3587	345	10,4
0,03	0	0	5623	279	116105	6310	6589	4408	396	11,1
0,04	0	0	5648	280	115453	6275	6555	5180	431	12,0
0,05	0	0	5663	281	115024	6251	6532	5828	453	12,9
0,06	0	0	5674	282	114701	6234	6515	6725	470	14,3
0,07	0	0	5680	282	114482	6222	6504	7430	482	15,4
0,08	0	0	5686	282	114306	6212	6495	8269	491	16,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Demandas y costos: variación del aislamiento en suelo

Espesor paredes (m)	Espesor suelo (m)	Espesor cubierta (m)	Demandas refrigeración (kWh)	Costo refrigeración (€)	Demandas calefacción (kWh)	Costo calefacción (€)	Costo total demanda (€)	Costo aislamiento (€)	Ahorro (€)	Payback simple (años)
0	0.01	0	8248	409	107446	5839	6249	8483	737	11.5
0	0.02	0	10198	506	99997	5435	5941	10760	1045	10.3
0	0.03	0	11544	573	95412	5185	5758	13225	1227	10.8
0	0.04	0	12498	620	92436	5024	5644	15541	1341	11.6
0	0.05	0	13216	656	90378	4912	5568	17485	1418	12.3
0	0.06	0	13781	684	88859	4829	5513	20174	1472	13.7
0	0.07	0	14210	705	87748	4769	5474	22289	1511	14.7
0	0.08	0	14548	722	86887	4722	5444	24806	1541	16.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Demandas y Costos: variación del aislamiento en cubierta

Espesor paredes (m)	Espesor suelo (m)	Espesor cubierta (m)	Demandas refrigeración (kWh)	Costo refrigeración (€)	Demandas calefacción (kWh)	Costo calefacción (€)	Costo total demanda (€)	Costo (€)	Ahorro (€)	Payback simple (años)
0	0	0.01	4648	231	108692	5907	6138	8483	848	10.0
0	0	0.02	4173	207	105741	5747	5954	10760	1032	10.4
0	0	0.03	3874	192	104221	5664	5856	13225	1129	11.7
0	0	0.04	3656	181	103259	5612	5793	15541	1192	13.0
0	0	0.05	3489	173	102618	5577	5750	17485	1235	14.2
0	0	0.06	3362	167	102125	5550	5717	20174	1268	15.9
0	0	0.07	3263	162	101802	5533	5695	22289	1291	17.3
0	0	0.08	3187	158	101520	5517	5676	24806	1310	18.9

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar los resultados de las modificaciones independientes en el espesor de las paredes, el suelo y la cubierta, fueron seleccionados los espesores óptimos teniendo en cuenta el periodo de recuperación de la inversión (*payback*) expresado en años (Ver Tabla 8); es decir, se refiere al tiempo requerido para recobrar la inversión realizada en la mejora de la envolvente térmica a través del ahorro en los costos de energía resultantes.

Tabla 8

Demandas y Costos, espesores óptimos: variación del aislamiento individual

Espesor paredes (m)	Espesor suelo (m)	Espesor cubierta (m)	Demandas refrigeración (kWh)	Costo refrigeración (€)	Demandas calefacción (kWh)	Costo calefacción (€)	Costo total demanda (€)	Costo (€)	Ahorro (€)	Payback simple (años)
0.02	0.02	0.01	11513	572	68774	3738	4309	22830	2676	8.5

Fuente: Elaboración propia.

Escenario 2

En el segundo escenario, se procedió a variar el espesor del aislamiento térmico en la misma proporción en las paredes, el suelo y la cubierta del edificio. Esta estrategia implicó ajustar de manera simultánea el grosor del material aislante en los tres principales componentes de la envolvente térmica. Como se describió previamente en el primer escenario, el objetivo principal fue determinar el espesor global más adecuado que ofrezca un equilibrio óptimo entre eficiencia energética y costos económicos, sin considerar aspectos normativos en esta evaluación.

Tabla 9

Demandas y Costos: variación del aislamiento en la misma proporción

Espesor paredes (m)	Espesor suelo (m)	Espesor cubierto (m)	Demandas refrigeración (kWh)	Costo refrigeración (€)	Demandas calefacción (kWh)	Costo calefacción (€)	Costo total demanda (€)	Costo (€)	Ahorro (€)	Payback simple (años)
0.01	0.01	0.01	8535	424	82496	4483	4907	19794	2078	9.5
0.02	0.02	0.02	11513	572	59884	3255	3826	25106	3160	7.9
0.03	0.03	0.03	14044	697	46600	2533	3230	30858	3756	8.2
0.04	0.04	0.04	16177	803	37862	2058	2861	36262	4125	8.8
0.05	0.05	0.05	17982	893	31942	1736	2629	40799	4357	9.4
0.06	0.06	0.06	19573	972	27656	1503	2475	47072	4511	10.4
0.07	0.07	0.07	21023	1044	24521	1333	2376	52008	4609	11.3
0.08	0.08	0.08	22337	1109	22255	1210	2318	57881	4667	12.4

Fuente: Elaboración propia.

Comparación de resultados

A continuación, se presentan los resultados más favorables de cada escenario, los cuales se detallan en la Tabla 10.

Escenario 1: Se establecieron espesores específicos para la cubierta (0.01 m), el suelo (0.02 m) y las paredes (0.02 m).

Escenario 2: Se aplicaron espesores uniformes en la cubierta, el suelo y las paredes (0.02 m).

Tabla 10*Comparación de las condiciones más favorables de dos escenarios*

	Escenario 1	Escenario 2	Unidades
Parámetros			
Inversión	22830	25106	€
Ahorro anual	2676	3160	€
<i>Payback</i>	8.5	7.9	años

Fuente: Elaboración propia.

El escenario 2 resultó más favorable ya que la inversión se recupera en un periodo de tiempo más corto.

Discusión

En el presente estudio la simulación realizada arrojó resultados relevantes sobre cómo el espesor del aislamiento afecta al consumo de energía y, por consiguiente, a los cálculos económicos del edificio de referencia. La selección del espesor óptimo de aislamiento térmico puede reducir la demanda energética en refrigeración y calefacción (Amani, 2024), pero un excesivo aislamiento podría llevar a un incremento en la carga térmica de refrigeración en determinadas circunstancias (por ejemplo, cuando la temperatura exterior es inferior a la interior), por lo que diferentes climas requieren estrategias de aislamiento personalizadas (Ounis et al., 2022).

Si bien para cada caso en particular es necesario realizar una simulación específica, la metodología empleada muestra el procedimiento que se debe seguir y que podría replicarse en contextos particulares. A continuación, se mencionan ciertos aspectos que requieren un análisis más detallado, lo cual permitirá la posible aplicación de estos resultados en situaciones prácticas.

La influencia de las condiciones meteorológicas, la disposición del edificio y la actividad interna (ganancias térmicas) son factores significativos para la precisión de las simulaciones efectuadas en condiciones particulares, por lo que se podrían realizar estudios que contrasten la optimización del aislamiento en diferentes tipologías (residencial, industrial, comercial) para identificar soluciones específicas y adaptables a cada caso.

Una de las principales consecuencias de la mejora en el aislamiento térmico es el efecto positivo que se puede llegar alcanzar en el medio ambiente, ya que reducir el gasto de energía en calefacción y aire acondicionado no solo disminuye los costos de operación del edificio, sino que también contribuye a disminuir las emisiones. Esto adquiere una relevancia especial dentro de los objetivos mundiales para minimizar los efectos del cambio climático y fomentar la construcción de edificios sostenibles. Para una evaluación completa de los beneficios relacionados con la aplicación de soluciones de aislamiento térmico eficiente, se podría realizar estudios de análisis del ciclo de vida (ACV).

A pesar de haberse empleado poliestireno expandido (EPS) como material aislante en el presente análisis, resultaría relevante investigar en el futuro la posibilidad de hacer uso de otros materiales que permitan brindar beneficios en eficiencia energética y sostenibilidad ambiental tales como materiales reciclados u otros. Comparar estos materiales teniendo en cuenta aspectos como las propiedades térmicas, la resistencia, el precio de instalación y la accesibilidad en la zona, podría brindar nuevas ideas para crear edificaciones que consuman menos energía.

El modelo utilizado en el presente estudio tiene ciertas restricciones propias de la simulación planteada, pues se simplificó la geometría de la estructura y se consideraron condiciones internas uniformes, lo que podría no reflejar la verdadera complejidad de otros entornos edificados, donde la carga térmica y la interacción entre los sistemas de construcción cambian con el tiempo; además, solo se tuvieron en cuenta aspectos técnicos y económicos, sin considerar elementos normativos, los cuales difieren en cada ubicación.

Los resultados de este tipo de estudios podrían brindar soluciones en la planificación de edificios y en la creación de normativas en el campo de la edificación sustentable. Mejorar el aislamiento térmico conlleva a disminuir de manera notable el consumo de energía a la vez que mejora el confort humano, lo que se refleja en gastos operativos más bajos y en un espacio interior más agradable. Al definir regulaciones y pautas que fomenten la construcción de edificios con un alto rendimiento energético, es importante que arquitectos, ingenieros y urbanistas tengan en cuenta estos beneficios; además, la introducción de beneficios tributarios y planes de ayuda podría favorecer la aceptación de tecnologías de aislamiento eficientes, impulsando el cambio hacia la planificación y construcción de edificaciones más respetuosas con el medio ambiente.

Es importante resaltar que optimizar el aislamiento térmico en las construcciones va más allá del ahorro energía y la obtención de beneficios económicos, pues se debe considerar como una forma completa de mejorar la calidad de vida de quienes hacen uso de esos espacios al mejorar el confort térmico.

Conclusiones

Para encontrar los espesores óptimos de aislamiento (EPS), desde una perspectiva técnico-económica, se evaluaron dos escenarios. En el primero, se procedió a variar independientemente los espesores de los aislamientos del suelo, la cubierta y las paredes, seguido de una simulación final con los espesores más eficientes obtenidos en cada componente; por otro lado, el segundo escenario surgió de las simulaciones realizadas al modificar individualmente el espesor de los aislamientos en el suelo, la cubierta y las paredes en valores iguales.

Los resultados muestran que los dos escenarios permiten reducir significativamente el consumo energético y mejorar la eficiencia del edificio; sin embargo, el escenario 2, con espesores uniformes de 0.02 m, no solo ofrece un *payback* más corto (7.9 años) y un ahorro anual superior (3160 €), sino que también simplifica el proceso de diseño y construcción al estandarizar el material aislante, lo que reduce complejidades logísticas y potenciales errores en la instalación.

La selección óptima del aislamiento térmico no solo repercute en la reducción del consumo de energía, sino que también contribuye a la disminución de emisiones de gases contaminantes y a la mejora significativa del confort térmico interior, factores esenciales para la sostenibilidad de los edificios y bienestar de los usuarios.

Además, estos hallazgos subrayan la relevancia de adaptar estrategias de aislamiento a condiciones climáticas locales, ya que un incremento excesivo en el espesor puede generar un efecto contraproducente en la demanda de refrigeración durante períodos cálidos, incrementando los costos operativos a largo plazo.

Se recomienda que futuros estudios consideren la inclusión de variables adicionales, como aspectos normativos, impactos ambientales asociados a los materiales utilizados y

posibles subvenciones gubernamentales. Esto permitirá complementar el análisis presentado y expandir las posibilidades de implementación de soluciones de aislamiento térmico eficientes en diferentes contextos constructivos y climáticos.

De esta manera, este tipo de estudios no solo aportan herramientas prácticas para proyectistas y arquitectos, sino que fomenta la transición hacia edificaciones más eficientes y resilientes al cambio climático, mejorando el confort humano y la viabilidad económica en el sector de la construcción sostenible.

Reconocimientos y Declaraciones

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja por el apoyo brindado siempre .

Los autores declaran la contribución y participación equitativa de roles de autoría para esta publicación.

Los autores declaran que, en la elaboración del presente artículo, no se ha utilizado herramientas de inteligencia artificial.

Referencias

- Al-Tamimi, N. (2021). Cost Benefit Analysis of Applying Thermal Insulation Alternatives to Saudi Residential Buildings. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 49(No 2), 156–177. <https://doi.org/10.21608/jesaun.2021.50485.1021>
- Alvear Calle, Ing. A., Sánchez, Arq. J. H., Tapia Abril, Arq. E., Ordoñez Alvarado, G., Aragón, M., Flores, C., & Heredia, E. (2016). Declaraciones consensuadas del Seminario-Taller: “Arquitectura Sostenible” Un enfoque sobre estrategias de diseño bioclimático: Caso Ecuador. *Estoa. Revista de La Facultad de Arquitectura y Urbanismo de La Universidad de Cuenca*, 5, 151–172.
- Amani, N. (2024). Simulation-based design: minimizing energy consumption in residential buildings through optimal thermal insulation. *World Journal of Engineering*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/WJE-04-2024-0188>
- Amende, K., Keen, J., Lynn, C., Tosh, M., Snead, A., & Howell, R. (2021). *Principles of Heating, Ventilating, and Air Conditioning* (9th ed.). ASHRAE.
- Andrade Cedillos, O. F., & Benítez Lara, O. A. (2009). *La arquitectura sostenible en la formación del arquitecto* [Trabajo de graduación]. Universidad de El Salvador.
- Bordoloi, U., & Das, B. (2024). Enhancing thermal comfort in buildings through the integration of phase change material on the building envelope: a simulation study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1372(1), 12089. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1372/1/012089>
- Boyano, A., Hernandez, P., & Wolf, O. (2013). Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations. *Energy and Buildings*, 65, 19–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.039>
- Esteves, A., Esteves, M. J., Mercado, M. V., Barea, G., & Gelardi, D. (2018). Building Shape that Promotes Sustainable Architecture. Evaluation of the Indicative Factors and Its Relation with the Construction Costs. *Architecture Research*, 8(4), 111–122. <https://doi.org/10.5923/j.arch.20180804.01>
- Fumo, N., Mago, P., & Luck, R. (2010). Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models. *Energy and Buildings*, 42(12), 2331–2337. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.027>

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2012). *Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética*. <https://www.fenercom.com/publicacion/guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-2012/>

International Energy Agency (IEA). (2013). *Transition to Sustainable Buildings*. <https://www.iea.org/reports/transition-to-sustainable-buildings#>

Lawrence, T., & Keen, J. (2024). *High-Performance Buildings Simplified* (2nd ed.). ASHRAE.

Mercado, M. V., & Barea, G. (2019). INFLUENCIA DE LA AISLACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS EN LA ESTACIÓN DE VERANO. In IBPSA 2019 (Ed.), *6º Congreso Sudamericano de Simulación de Edificios*.

Ounis, S., Aste, N., Butera, F. M., Pero, C. Del, Leonforte, F., & Adhikari, R. S. (2022). Optimal Balance between Heating, Cooling and Environmental Impacts: A Method for Appropriate Assessment of Building Envelope's U-Value. *Energies*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/en15103570>

Spitler, J. (2014). *Load Calculation Applications Manual* (2nd ed.). ASHRAE.

U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO). (n.d.). *EnergyPlus Licensing*. Retrieved October 9, 2024, from <https://energyplus.net/licensing>

Weber Saint-Gobain. (n.d.). *webertherm PLACA EPS*. Retrieved October 14, 2024, from <https://www.es.weber/sate/materiales-aislantes/webertherm-placa-eps>

Yang, W., Lin, Yaolin, & Fatourehchi, D. (2024). Thermal comfort. In C. Candido, I. Durakovic, & S. Marzban (Eds.), *Routledge Handbook of High-Performance Workplaces* (1st ed., pp. 62–78). Routledge.

Yu, J., Yang, C., & Tian, L. (2008). Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China. *Energy and Buildings*, 40(8), 1536–1546. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.020>

Yu, J., Yang, C., Tian, L., & Liao, D. (2009). A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*, 86(11), 2520–2529. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.010>