



Eficacia de los materiales aislantes en el comportamiento térmico de la envolvente en aulas escolares.

Ccama Condori H. A., Aza Medina L. C., Abarca Ancori A.

Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi. Vol. 1, N° 3 / Pag. 37 - 51

Doi: 10.5281/zenodo.7686529

Recibido 20/11/2022

Aceptado 12/02/2023

Artículo Original

# EFICACIA DE LOS MATERIALES AISLANTES EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA ENVOLVENTE EN AULAS ESCOLARES.

## EFFECTIVENESS OF INSULATING MATERIALS IN THE THERMAL BEHAVIOR OF THE ENVELOPE IN SCHOOL CLASSROOMS.

**Ccama Condori H. A.**

 Instituto de Investigación en Arquitectura y Construcción, UNA - PUNO


 <https://orcid.org/0000-0003-2886-7901>

 [hccama@unap.edu.pe](mailto:hccama@unap.edu.pe)

**Aza Medina L. C.**

 Instituto de Investigación en Arquitectura y Construcción, UNA - PUNO

 <https://orcid.org/0000-0002-3707-2126>

 [lcaza@unap.edu.pe](mailto:lcaza@unap.edu.pe)

**Abarca Ancori A.**

 Instituto de Investigación en Arquitectura y Construcción, UNA - PUNO

 <https://orcid.org/0000-0003-0206-4705>

 [amparo\\_abarca@hotmail.com](mailto:amparo_abarca@hotmail.com)

Cita este artículo:

Ccama Condori H. A., Aza Medina L. C., Abarca Ancori A. (2023). Eficacia de los materiales aislantes en el comportamiento térmico de la envolvente en aulas escolares. *Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi*, 1(3), 37 - 51. Doi: 10.5281/zenodo.7686529

## Resumen

El comportamiento térmico de los elementos constructivos de la envolvente depende en gran medida de los materiales y sus propiedades, en ese propósito este estudio se planteó como objetivo cuantificar la eficacia de los materiales aislantes en el comportamiento térmico de la envolvente en un aula de la zona altoandina de Puno. La recopilación de datos para los cálculos matemáticos, fue realizado en un aula en su situación inicial (aula convencional), así también en un aula con tratamiento con materiales aislantes (aula modificada), para luego realizar una comparativa del comportamiento de las propiedades termofísicas de los materiales, con dicho propósito se identificó los tipos de elementos constructivos de los cerramientos, luego se asignó un código a cada elemento para su procesamiento, esta acción se realizó en los planos constructivos vectorizados, los cálculos de resistividad y transmitancia térmica se realizó a través de modelos matemáticos establecidos en la literatura especializada. Los resultados de resistividad muestran un valor calculado de 3,344 W/m<sup>2</sup>.°C para el aula convencional y 4,019 W/m<sup>2</sup>.°C para el aula modificada, con relación a transmitancia térmica se calculó un valor de 3,269 W/m<sup>2</sup>.°C para el aula convencional y 2,66 W/m<sup>2</sup>.°C para el aula modificada. Se concluye que tras el tratamiento con materiales aislantes mejoro el comportamiento térmico del aula educativo.

### Palabras clave

Comportamiento térmico, envolvente, materiales aislantes, resistividad y transmitancia.

## Abstract

The thermal behavior of the constructive elements of the envelope depends to a large extent on the materials and their properties. For this purpose, this study aimed to quantify the effectiveness of the insulating materials in the thermal behavior of the envelope in a classroom in the area high Andean of Puno. The data collection for the mathematical calculations was carried out in a classroom in its initial situation (conventional classroom), as well as in a classroom with treatment with insulating materials (modified classroom), to later make a comparison of the behavior of the thermophysical properties of the materials, with this purpose the types of construction elements of the enclosures were identified, then a code was assigned to each element for its processing, this action was carried out in the vectorized construction plans, the resistivity and thermal transmittance calculations were carried out through mathematical models established in the specialized literature. The resistivity results show a calculated value of 3.344 W/m<sup>2</sup>.°C for the conventional classroom and 4.019 W/m<sup>2</sup>.°C for the modified classroom. In relation to thermal transmittance, a value of 3.269 W/m<sup>2</sup>.°C was calculated for the classroom conventional and 2.66 W/m<sup>2</sup>.°C for the modified classroom. It is concluded that after the treatment with insulating materials, the thermal behavior of the educational classroom improved.

### Keywords

Insulating materials, resistivity, surround, thermal behavior and transmittance.

## **Introducción**

El comportamiento térmico adecuado de un ambiente interior, con las mejoras de las condiciones del exterior, ha sido siempre una de las principales prioridades del ser humano para la construcción de su refugio, donde pueda albergarse, esta situación podemos ver en la mayor parte de las construcciones del pasado a nivel del mundo, desde la antigüedad hasta el momento actual (Bojórquez, 2010). Cuando se diseña y construye una edificación una de las exigencias primordiales, es que las personas que en ella se encuentren se sientan térmicamente confortables (Espinoza, et al., 2009), en ese sentido el comportamiento térmico adecuado del ambiente tiene implicaciones profundas en la forma como es que se diseñan, gestionan y construyen las envolventes de los ambientes (Huaylla, et al., 2009).

En la actualidad el comportamiento térmico en las aulas educativas es un tema ineludible por parte de quienes tienen que ver con la gestión y construcción de estos ambientes educativos, en ese sentido, cabe señalar que el comportamiento térmico depende principalmente del tipo de cerramiento de la envolvente del aula (muros, cobertura, pisos, puertas y ventanas), el cual debe ofrecer y garantizar condiciones adecuadas de confort en el ambiente interior del aula escolar para que el estudiante pueda desarrollarse eficientemente en la productividad de sus actividades de aprendizaje.

Los ambientes educativos son espacios donde los estudiantes y profesores pasan el mayor tiempo de la jornada de labores, lo que involucra que estos ambientes deben ofrecer adecuadas condiciones térmicas, sin embargo en la zona altoandina de Puno, estos espacios no brindan las condiciones de confort para un buen desenvolvimiento de sus actividades de aprendizaje; la razón principal de esta problemática, son las técnicas constructivas que no permiten reducir el impacto del frío, no obstante las inadecuadas prácticas constructivas, originan el enfriamiento del interior del aula hasta llegar a temperaturas cercanas a las del exterior, esto afecta al desarrollo del estudiante.

En ese sentido el aula escolar cumple un rol fundamental en las condiciones de bienestar general de los profesores y estudiantes, y en los avances de los propósitos educativos (Toyinbo et al., 2016), así mismo se debe señalar que una buena calidad del ambiente interior con materiales constructivos adecuados permite una mejora en el rendimiento escolar (Wargoeki y Wyon, 2006), del mismo modo el control adecuado de los cerramientos de la envolvente del ambiente mejora el desempeño escolar (Toyinbo et al., 2016).

Los cerramientos de la envolvente son considerados barreras entre el interior y el exterior, es decir, son elementos que aíslan, e impiden el contacto de las condiciones climáticas exteriores con el interior de las edificaciones (Alvarenga, 2013), una alternativa para realizar un aislamiento de un ambiente es usar materiales aislantes en el cerramiento de la envolvente de la edificación, esta situación hace posible el control pasivo para la obtención de ganancias de calor en las superficies de la envolvente y esto hace posible las mejoras de las condiciones térmica del ambiente (Varini, 2013), en ese sentido el propósito del uso de los materiales aislantes es optimizar el confort en el ambiente interior sin usar elementos mecánicos térmicos que generen confort en la envolvente (Vásquez, 2012).

Por otra parte, el propósito del uso de materiales aislantes es el control del comportamiento térmico, para lograr dicho propósito estas deben poseer resistencia térmica elevada y transmitancia térmica baja (Varini, 2013), así mismo el propósito de usar materiales aislantes es mejorar el interior del ambiente, lo que permitirá obtener ganancias de confort en el interior, con una envolvente mejorada térmicamente y con mayor superficie de ganancia de calor (Filippin y Flores, 2005).

La resistencia y transmitancia térmica son “mecanismos de transferencia de calor a escala atómica a través de la materia por actividad molecular, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas” (Cengel, 2007), este fenómeno se presenta si existe diferencia de temperatura

entre los cuerpos del conductor (Mazria, 1979). La geometría del cuerpo, el grosor, el material del cuerpo y las diferencias de temperatura, son parámetros fundamentales para la conducción de calor en un cuerpo (Cengel, 2007).

Para realizar la cuantificación del comportamiento térmico de la envolvente se deben conocer las condiciones del cerramiento (geometría, material, espesor), los detalles constructivos y el flujo de calor de la edificación (Díaz y Tenorio, 2005), en este propósito, este estudio tiene como finalidad cuantificar la transmitancia y resistencia térmica del cerramiento de una aula escolar con la aplicación de materiales aislantes, para dicho acometido el estudio identifico los elementos de la envolvente teniendo en cuenta la conductividad térmica homogénea de los materiales, para luego calcular las propiedades termofísicas de cada elemento identificado, esto de acuerdo a (Barrios, et. al. 2010).

En este contexto el comportamiento térmico del aula educativo, depende del tipo de cerramiento, en ese propósito este estudio tiene como objetivo cuantificar la eficacia del material aislante en el comportamiento térmico de la envolvente en un aula de la zona altoandina, siguiendo rigurosamente el proceso del método científico.

## Metodología

El objeto de estudio, es un aula educativo, de zona bioclimática altoandina, ubicado en Macusani - Puno (70° 26' 20" longitud. Oeste, 14° 04' 12" latitud sur, altitud 4345 m.s.n.m.), el aula como unidad de análisis pertenece a una institución pública, lo que permite señalar que es una aula construida con las normas del Ministerio de Educación del Perú. La zona donde se ubica la unidad de estudio presenta un clima frío con presencia de temperaturas adversas que llegan hasta -15°C, que es característico de la zona altoandina.

La estrategia que se adoptó en este trabajo de investigación fue cuantificar las propiedades termofísicas del aula seleccionado como unidad de análisis, la primera cuantificación se realizó en su situación original (aula convencional), así mismo se ha cuantificado con tratamiento de materiales aislantes principalmente con el uso del poliestireno expandido (aula modificada).

El estudio fue de diseño experimental, donde el aula en su situación inicial fue sometida a tratamiento con materiales aislantes para luego observar las diferencias de las variables estudiadas (resistencia y transmitancia térmica), entendiéndose de que el grupo de control es el aula convencional y el experimental es el aula modificada.

$$G_1 \quad X_{101} \ X_{202} \ X_{303} \ X_{404}$$

$$G_2 \quad X_{105} \ X_{206} \ X_{307} \ X_{408}$$

Donde  $G_2$  es el aula modificada después de la aplicación del tratamiento y  $G_1$  el aula control sin tratamiento en su situación inicial;  $X_1$  y  $X_2$  son los diferentes estímulos de tratamiento de materiales aislantes y  $0_1$  al  $0_n$  son las mediciones de la resistencia y transmitancia térmica de la envolvente del cerramiento. A continuación se muestra las características de la envolvente de las condiciones de medición.

### Aula convencional

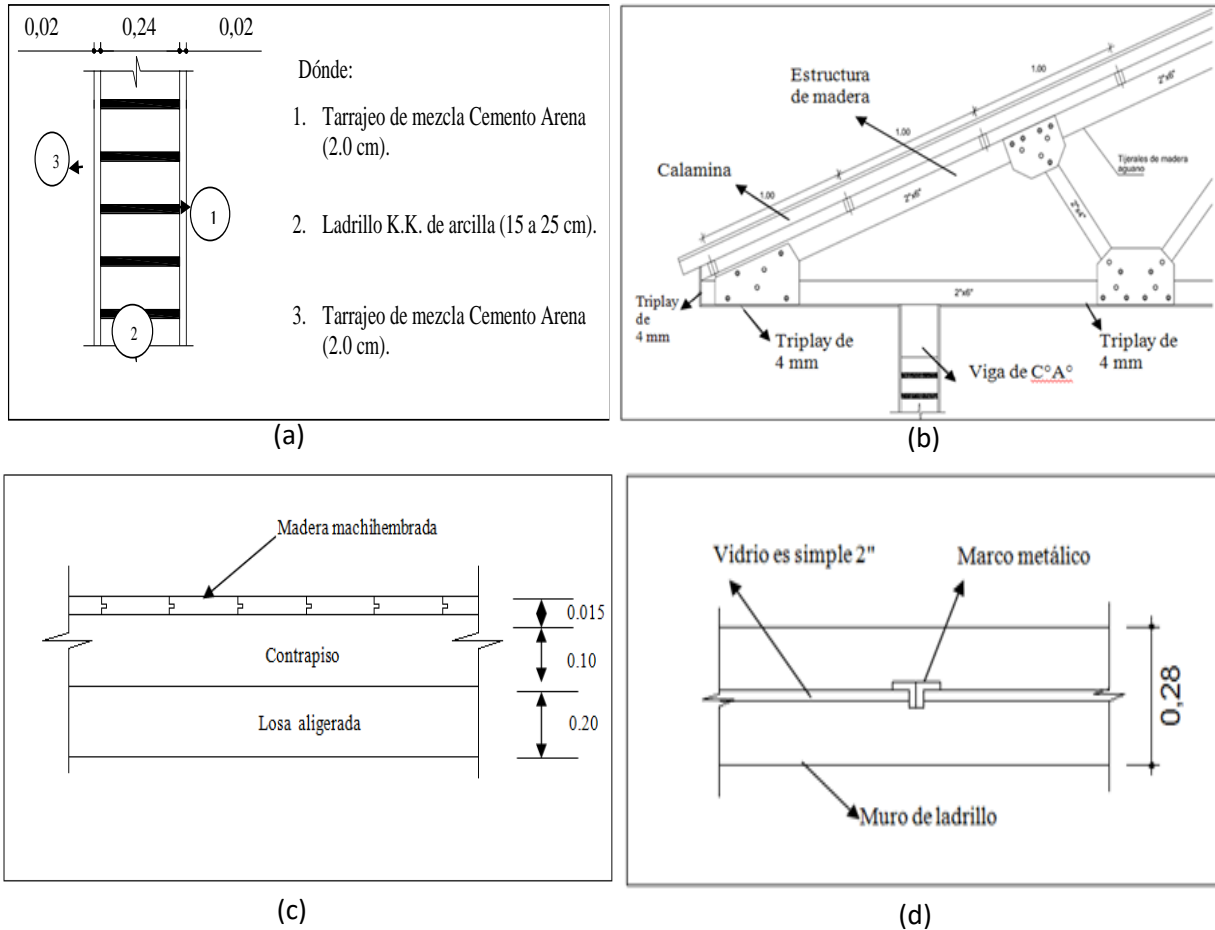
Los muros y tabiques de la envolvente fueron de ladrillo King Kong de fabricación industrial dispuesto en aparejo de cabeza, con mortero de C: A 1:5 y juntas de 15mm en promedio, todos los muros de ladrillo fueron arriostrados a las columnas, Los muros fueron tarrajeados con mezcla de C: A 1:5 con un espesor de 2.00 cm. tanto en la parte exterior como en la parte interior del cerramiento (Figura 1). La cubierta del aula fue de calamina galvanizada sujeta en una estructura de tijerales de madera, así mismo el cielo raso fue de material triplay de 4mm (interior) y cielo raso de triplay de 6mm en el volado, estas fueron sujetadas a cuarterones de madera de 2"

x 2" y 2" x 3" el cual se estructuro en todo área del aula el para formar el entramado en el cual esta sostenido las planchas de triplay del cielo raso.

Los pisos fueron de madera machihembrado que está colocado sobre durmientes de madera de 2" x 3" a una distancia de 0.60 m, el mismo que esta sujeta al contrapiso de concreto simple e=4cm. Por otro lado las aberturas de las ventanas presentaron un marco metálico de fierro angular T de 3/4"x 1.1/2", las cuales fueron empotrados en los derrames de las ventanas, el vidrio que presentó es simple incoloro transparente de 2". Por otro lado la puerta fue de madera tornillo, presento un espesor de 3 cm y los marcos fueron de 1.5"x 3".

Figura 1.

*Cerramiento de la envolvente del aula convencional.*



Nota. (a) Cerramiento en muros sin tratamiento, (b) cerramiento en cobertura sin tratamiento, (c) cerramiento en pisos sin tratamiento, (d) cerramiento en ventanas sin tratamiento.

**Aula modificada**

Las modificaciones de los cerramientos de la envolvente se realizaron a nivel interno sin involucrar obras mayores de albañilería ni mampostería, fueron sustituidos los marcos y vidrios en las ventanas, instalación de nuevas puertas, y el aislamiento térmico tanto de muros, cobertura y pisos. A continuación se detalla el acondicionamiento realizado:

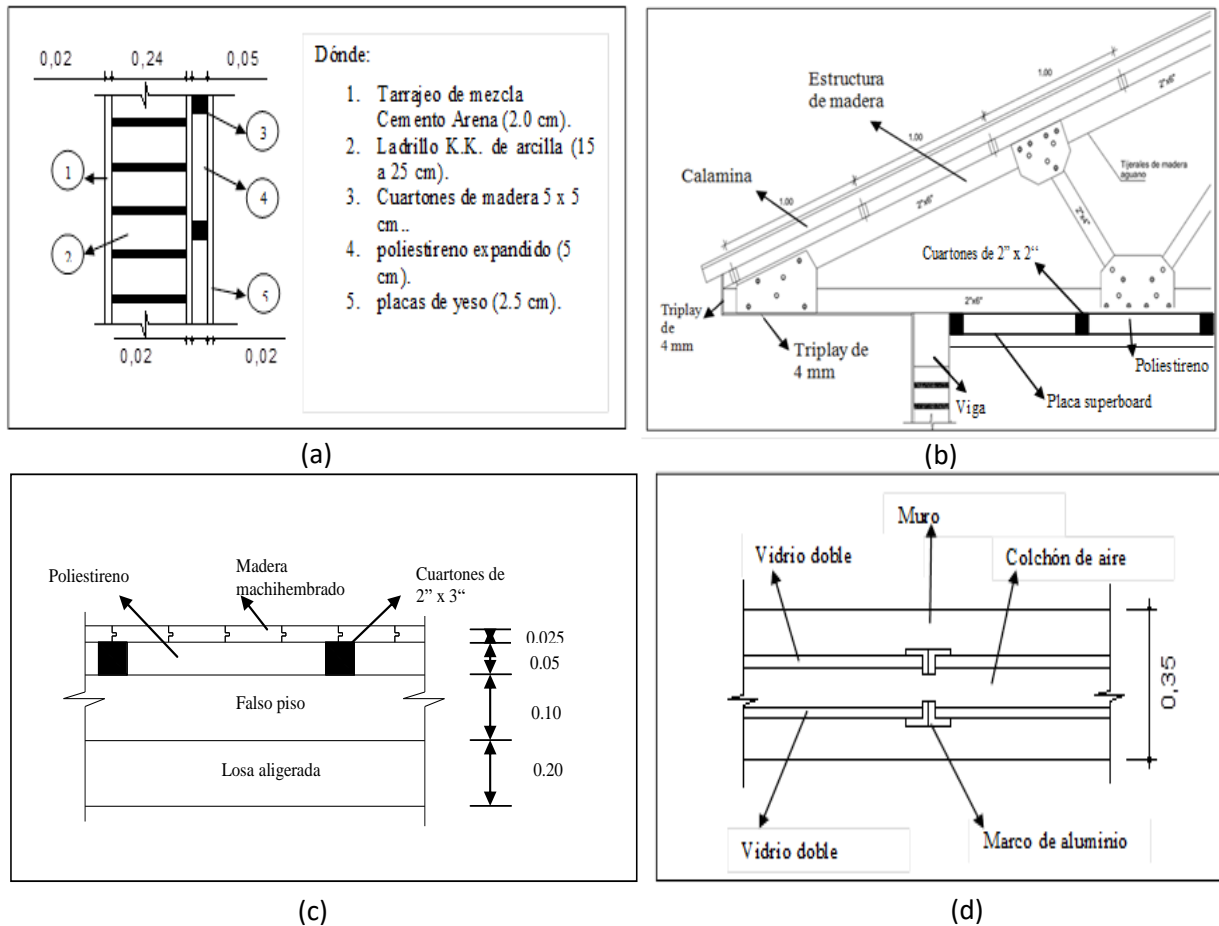
El acondicionamiento de los muros interiores fueron realizados con tecnopor de 2" (poliestireno expandido), el mismo que ha sido colocado sobre el tarrajeo del muro, para dicho propósito se ha instalado una estructura de madera de 2" x 2" para la sujeción, este tratamiento se realizó en todo el perímetro del aula desde el nivel de piso terminado hasta el nivel de cielo raso; los muros fueron revestidos con placas de yeso, las mismas que han sido colocados sobre la estructura de madera de 2" x 2" y tratados con imprimado y pintura (Figura 2).

El cielo raso de la cubierta fue tratado con poliestireno expandido de 2", previamente se ha entramado una estructura de madera de 2" x 2" el mismo que ha sido sujetado a los tijerales de madera existente., posterior a dichos trabajos se ha colocado placas de superboard para su acabado final, posteriormente se realizó el tratamiento final con imprimado y pintura en la superficie horizontal (Figura 2).

El piso fue tratado con poliestireno expandido de 2", dicho material aislante ha sido colocado en la cara superior del falso piso, que es de material concreto simple, para la sujeción del poliestireno expandido se ha estructurado una retícula de madera tornillo de 2" x 3", posterior a estos trabajos se ha colocado la madera machihembrada, por último fue sellado con cera para aumentar la resistencia contra el agua y para reducir el desgaste de la madera. Las ventanas del aula fueron tratadas con vidrios dobles sobre una estructura madera, así mismo estas se encuentran separados por una cámara de aire sellada herméticamente que impide la pérdida de calor. Las puertas fueron incrementadas en su espesor a 2".

Figura 2.

*Cerramiento de la envolvente del aula Modificada.*



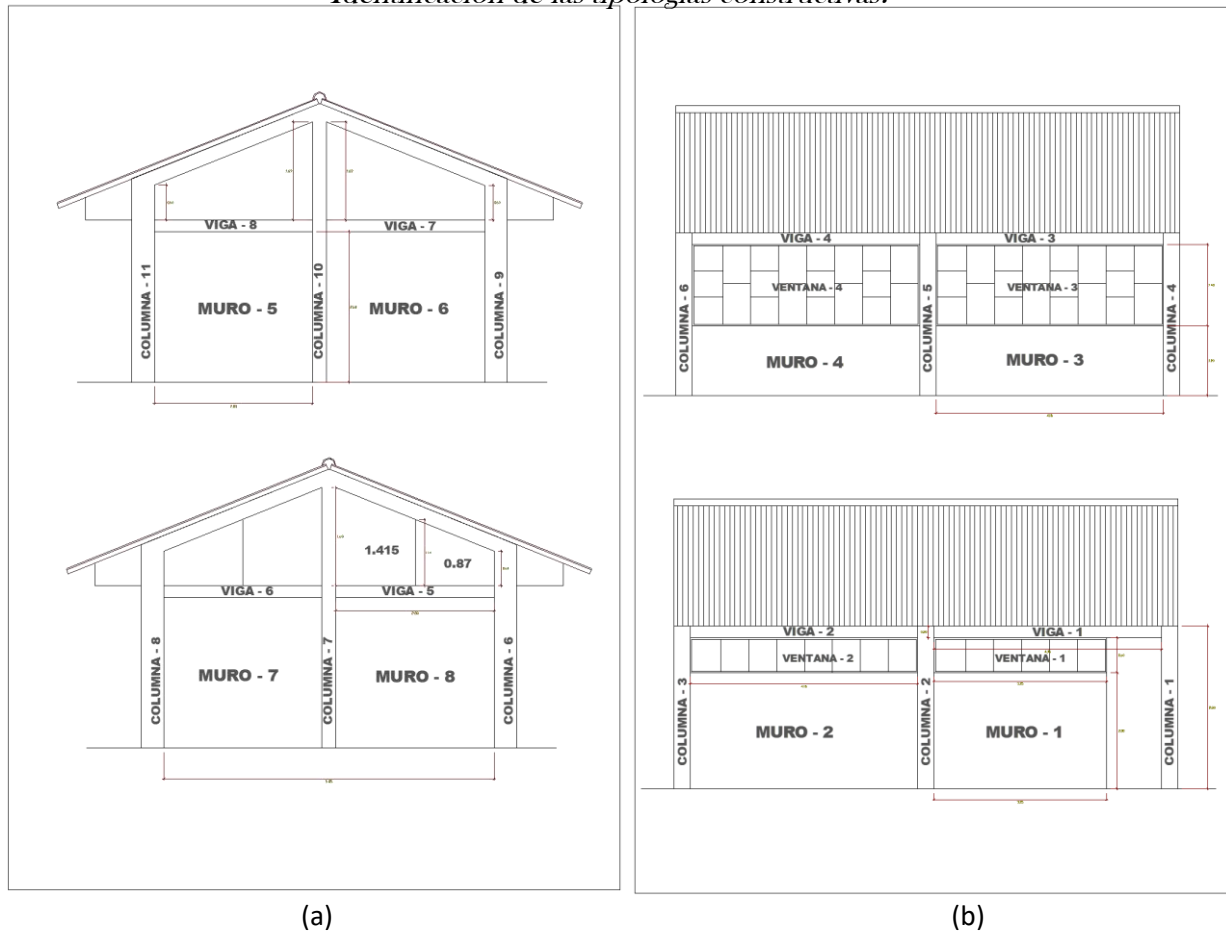
Nota. (a) Cerramiento en muros con tratamiento, (b) cerramiento en cobertura con tratamiento, (c) cerramiento en pisos con tratamiento, (d) cerramiento en ventanas con tratamiento

### Asignación de códigos de elementos

Para calcular las propiedades termofísicas de los elementos de cerramientos se identificó tipos de elemento constructivo con materiales homogéneos, de acuerdo a la recomendación de los autores especializados (Díaz y Tenorio, 2005; Barrios et al., 2010), la identificación y la asignación de códigos fueron realizados en los planos constructivos de la envolvente vectorizados previamente, lo mencionado se observa en la Figura 3 y Tabla 1.

Figura 3.

*Identificación de las tipologías constructivas.*



Nota. (a) Identificación de elementos homogéneos en alzados laterales, (b) identificación de elementos homogéneos en alzados frontal y posterior.

Tabla 1.

*Asignación de códigos de elementos de la envolvente.*

Muro	Columnas	Viga	Cubierta	Piso	Ventana	Puerta
M-1	C-1	V-1	T-1	P-1	A-1	P-1
M-2	C-2	V-2	T-2		A-2	
M-3	C-3	V-3	T-3		A-3	
M-4	C-4	V-4	T-4		A-4	
M-5	C-5	V-5				
M-6	C-6	V-6				
M-7		V-7				
M-8		V-8				

Nota: La asignación se ha realizado en base a planos vectorizados en el programa Autocad, dicho procedimiento se realizó para el procesamiento de datos, con dicho propósito se asignó una nomenclatura a cada elemento.

### Conductividad térmica de la envolvente ( $\lambda$ )

Para determinar los valores de conductividad térmica se ha revisado diferentes estudios donde se presentan valores calculados para la conductividad térmica de los diferentes materiales constructivos previamente establecidos, entre ellos podemos citar a (Quispe, 2013; Lira et al., 2008; Sassi et al., 2005; Peña et al., 2008) y otros. Para este estudio se asumió dichos valores

Eficacia de los materiales aislantes en el comportamiento térmico de la envolvente en aulas escolares. *Ccama Condori H. A., Aza Medina L. C., Abarca Ancori A.*

mostrados en estos estudios especializados.

**Resistividad térmica de la envolvente (R)**

El modelo matemático utilizado para calcular la resistencia de los elementos constructivos de la envolvente, es de acuerdo a lo mencionado por (Peña et al., 2008), dicho autor especifica lo siguiente para el cálculo de la resistividad térmica de un material:

$$R = \frac{e}{\lambda} \dots\dots\dots(1)$$

Los elementos constructivos de la envolvente del aula convencional y modificada, presentan varias capas planoparalelas en su estructura de acuerdo a las figuras mostradas anteriormente, por lo que la resistividad total de la envolvente es la suma de todas las capas, el mismo que fue calculado con el siguiente modelo matemático.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \dots\dots\dots (2)$$

**Transmitancia térmica de la envolvente (K)**

Para el cálculo de este parámetro se utilizó la ecuación matemática de coeficiente de transmisión de calor K del cerramiento constructivo de la envolvente, de la norma internacional NBE-CT-79, así mismo para facilitar la comprensión de este valor de transmitancia, se utilizó el coeficiente calculado como Ki (en W/m2.°C), de igual manera para determinar los valores se utilizó el modelo planoparalelas de distintos materiales de la envolvente, cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$\frac{1}{K} = \sum \frac{L}{\lambda} + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) \dots\dots\dots(3)$$

Dónde:

- L = Espesor de las distintas capas del cerramiento expresado en (m)
- λ = Conductividad de la capas del cerramiento en W/m.°C.
- 1/hi = Resistencia de la superficie en cara interior en m². °C/W.
- 1/he = Resistencia de la superficie en cara exterior en m². °C/W.

Para los elementos verticales de separación con el exterior.

Dónde:

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \dots\dots\dots (4)$$

- R = Resistencia térmica por área de las capas del material (m²°C/W).
- e = Espesor de la capa de material expresado en (m).

Para este estudio se opta por el valor de 0.17 m²°C/W. de acuerdo a la norma NBE-CT- 79.

**Resultados**

La resistividad térmica del aula modificada, presento mejoras en comparación del aula convencional, por lo tanto se puede afirmar que el aula modificada tiene un comportamiento térmico superior respecto del aula convencional, tal como se puede observar en la Tabla 2, los valores calculados de los distintos elementos homogéneos de la envolvente.



Tabla 2.  
*Valores calculados de resistividad térmica del cerramiento del aula convencional y modificada.*

Elemento constructivo	Asignación	Aula - convencional	Aula - modificada	Diferencia
		Resistencia térmica m <sup>2</sup> °C/W	Resistencia térmica m <sup>2</sup> °C/W	Resistencia térmica m <sup>2</sup> °C/W
Muro	M- 1	0,418	0,502	0,084
	M- 2	0,418	0,502	0,084
	M- 3	0,418	0,502	0,084
	M - 4	0,418	0,502	0,084
	M - 5	0,418	0,502	0,084
	M - 6	0,418	0,502	0,084
	M - 7	0,418	0,502	0,084
	M - 8	0,418	0,502	0,084
Columna	C - 1	0,916	1,000	0,084
	C - 2	1,146	1,230	0,084
	C - 3	0,916	1,000	0,084
	C - 4	0,916	1,000	0,084
	C - 5	1,146	1,230	0,084
	C - 6	0,916	1,000	0,084
Viga	V - 1	0,916	1,000	0,084
	V - 2	0,916	1,000	0,084
	V - 3	0,916	1,000	0,084
	V - 4	0,916	1,000	0,084
	V - 5	0,686	0,770	0,084
	V - 6	0,686	0,770	0,084
	V - 7	0,686	0,770	0,084
	V - 8	0,686	0,770	0,084
Cubierta	T - 1	0,271	0,361	0,089
	T - 2	0,285	0,374	0,089
	T - 3	0,285	0,374	0,089
	T - 4	0,271	0,361	0,089
Piso	P - 1	0,333	0,355	0,022
Ventana	A - 1	0,142	0,209	0,067
	A - 2	0,142	0,209	0,067
	A - 3	0,142	0,209	0,067
	A - 4	0,142	0,209	0,067
Puerta	P - 1	0,2042	0,207	0,003

Nota: Los valores calculados se obtuvieron en base a los modelos matemáticos de resistividad, en función de las propiedades termofísicas de los materiales.

La transmitancia térmica del cerramiento del aula modificada, muestra mejoras en el comportamiento térmico en comparación con el aula convencional, evidenciándose que los valores calculados en el aula modificada son inferiores respecto al aula convencional, en la tabla

3 se observa los cálculos obtenidos de los distintos elementos de la envolvente, en función a las propiedades termofísicas de los materiales.

Tabla 3.  
*Valores calculados de transmitancia térmica del cerramiento del aula convencional y modificada.*

Elemento constructivo	Asignación	Aula - convencional Resistencia térmica m <sup>2</sup> °C/W	Aula - modificada Resistencia térmica m <sup>2</sup> °C/W	Diferencia Resistencia térmica m <sup>2</sup> °C/W
Muro	M- 1	15,072	12,541	2,531
	M- 2	19,856	16,523	3,334
	M- 3	11,914	9,914	2,000
	M - 4	11,914	9,914	2,000
	M - 5	17,416	14,492	2,924
	M - 6	17,416	14,492	2,924
	M - 7	17,416	14,492	2,924
	M - 8	17,416	14,492	2,924
Columna	C - 1	0,611	0,560	0,052
	C - 2	0,733	0,683	0,050
	C - 3	0,611	0,560	0,052
	C - 4	0,611	0,560	0,052
	C - 5	0,733	0,683	0,050
	C - 6	0,611	0,560	0,052
Viga	V - 1	0,906	0,830	0,076
	V - 2	0,906	0,830	0,076
	V - 3	0,906	0,830	0,076
	V - 4	0,906	0,830	0,076
	V - 5	0,816	0,727	0,089
	V - 6	0,816	0,727	0,089
	V - 7	0,816	0,727	0,089
	V - 8	0,816	0,727	0,089
Cubierta	T - 1	48,619	36,653	11,966
	T - 2	46,349	35,348	11,001
	T - 3	46,349	35,348	11,001
	T - 4	48,619	36,653	11,966
Piso	P - 1	158,591	148,842	9,749
Ventana	A - 1	13,305	9,036	4,269
	A - 2	17,528	11,904	5,624
	A - 3	40,899	27,777	13,123
	A - 4	40,899	27,777	13,123
Puerta	P - 1	12,733	12,560	0,172

Nota: Los valores calculados se obtuvieron en base a los modelos matemáticos de transmitancia, en función de las propiedades termofísicas de los materiales.

Los valores finales calculados de resistencia térmica de los distintos tipos de elementos constructivos de los cerramientos de la envolvente presenta un comportamiento mejor en el aula

Eficacia de los materiales aislantes en el comportamiento térmico de la envolvente en aulas escolares. *Ccama Condori H. A., Aza Medina L. C., Abarca Ancori A.*

modificada en comparación del aula convencional, obteniéndose valores calculados para el aula convencional de 1,730 m<sup>2</sup>°C/W y 2,084 m<sup>2</sup>°C/W para el aula modificada. Estos valores calculados evidencian que se incrementó la resistividad térmica luego de haber sido tratado con materiales aislantes el aula (aula modificada). Así mismo presentan diferencias los valores, lo que permite afirmar que se tiene mejoras en el aula modificada. Lo mencionado se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4.

*Valores finales de resistencia térmica de la envolvente del aula convencional y modificada.*

Elemento de la envolvente	M	C	V	T	P	A	P	Total
Resistividad térmica de aula convencional	3,344	5,956	6,408	1,114	0,334	0,568	0,204	1,730
Resistividad térmica de aula modificada	5,956	6,462	7,083	1,470	0,355	0,837	0,207	2,084
Diferencias de resistividad térmica	0,675	0,506	0,675	0,355	0,022	0,268	0,003	0,354

Los resultados de transmitancia térmica de la envolvente evidenciaron mejoras en el aula modificada. El calculado final para el aula modificada es menor, con respecto al aula convencional, el valor calculado del aula convencional es de 3,26 W/m<sup>2</sup>.°C, así mismo el modificada obtuvo un valor final de 2,66 W/m<sup>2</sup>.°C. Estos valores demuestran que se tiene mejor comportamiento térmico de los materiales en el aula modificada, por otro lado se evidencia que el valor final calculado para el aula convencional, es superior con respecto al aula modificada, esta situación confirma que el mejor comportamiento que se tiene es en el aula modificada en comparación con el aula convencional, esto debido fundamentalmente al tratamiento con materiales aislantes que permite obtener un comportamiento en función de las propiedades de cada material. Ver tabla 5.

Tabla 5.

*Valores finales de transmitancia térmica de la envolvente del aula convencional y modificada.*

Elemento de la envolvente	M	C	V	T	P	A	P	Total
Resistividad térmica de aula convencional	2,39	0,99	1,23	3,59	2,99	7,03	4,89	3,26
Resistividad térmica de aula modificada	1,99	0,92	1,12	2,72	2,81	4,78	4,83	2,66
Diferencias de resistividad térmica	0,40	0,08	0,12	0,87	0,18	2,26	0,07	0,61

## Discusión

El valor final calculado de transmitancia para el aula convencional es 3,26W/m<sup>2</sup>.°C, este valor se encuentra por encima de lo recomendado por diferentes reglamentos relacionados con el tema de la transmitancia (NBE-CT-79, Norma RNE. EM.110, 2014, Norma IRAM 11603, Norma

NMX C 460 ONNCCE - 2009), esto demuestra que la transmitancia térmica en la condición inicial es alto, esto se debe a la utilización de materiales de construcción de la envolvente, que no son los adecuados, presentando alta conductividad térmica y como consecuencia la transferencia de calor es muy rápido. Así mismo para el caso de los muros del aula convencional los cálculos reportaron un valor total de transmitancia térmica de  $2,39\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , dicho valor es superior a la normatividad técnica del Perú (EM.110, 2014) donde se señala que para la zona altoandina, la transmitancia térmica debe ser como máximo  $1,0\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , esto demuestra que los valores calculados no cumple con las normas técnicas peruanas, por lo que se infiere que este elemento pierde el calor acumulado en el interior del ambiente a través del proceso de transferencia de calor por conducción convección y radiación; por otro lado para el caso del muro el aula modificada presenta un valor de  $1,99\text{W/m}^2\cdot\text{C}$  lo que indica que se encuentra por encima de lo recomendado por la norma peruana, esto permite señalar que se debe utilizar en el cerramiento materiales altamente aislantes e incrementar el espesor del muro. Del mismo modo para la cubierta del aula convencional se tiene un valor calculado de  $3,59\text{W/m}^2\cdot\text{C}$  y los valores máximos recomendados en las normas son: norma EM.110  $0,83\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , norma NBE-CT-79  $1,20\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , y norma IRAM 11603  $1,0\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , por lo que se puede afirmar que la cubierta del aula convencional no tiene un buen comportamiento térmico debido a que los cálculos realizados indican un valor alto con respecto a los valores recomendados por las diferentes normas tanto nacionales e internacionales, esto demuestra que los materiales utilizados en la cubierta no son los adecuados.

De igual manera para los pisos el valor calculado es  $2,99\text{W/m}^2\cdot\text{C}$  y el valor recomendado por la norma (EM.110, 2014) es  $3,26\text{W/m}^2\cdot\text{C}$  como valor máximo, pero este valor está referido a pisos de fundación en contacto con el suelo, el caso analizado en este estudio es de entrepiso por lo que el valor será más baja, así mismo la norma (INN, 2008) recomienda un valor de  $0,4\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , la misma que está muy por debajo de lo encontrado en este estudio por lo que no cumple con las exigencias de esta norma. La transmitancia total calculada del aula modificada es  $2,659\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , este valor calculado comparado con el valor calculado para el aula convencional evidencia que existe una reducción significativa de la transmitancia térmica, esto demuestra que el aula modificada posee un mejor comportamiento, debido a que esta fue tratada con materiales aislantes en toda la envolvente del aula aislando del ambiente exterior. La transmitancia térmica del aula modificada, para los muros y techo es de  $1,99\text{W/m}^2\cdot\text{C}$  y  $2,72\text{W/m}^2\cdot\text{C}$  respectivamente, dichos valores son superiores a lo que señala la norma peruana (EM.110, 2014). Así mismo Walter et al. (2011) calcularon la transmitancia térmica de aulas donde obtuvieron para muros  $0,33\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , y para techos  $0,64\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , valores que se encuentran por debajo de lo encontrado en este estudio, esto se debe al planteamiento utilizado en los cerramientos de la envolvente. Se puede observar que el aula modificada tuvo una reducción significativa respecto al aula convencional en la variable transmitancia térmica de ventanas, presentando un valor de  $4,781\text{W/m}^2\cdot\text{C}$  este es inferior a lo recomendado por la norma (ONNCCE, 2009) donde se recomienda un valor de  $5,319\text{W/m}^2\cdot\text{C}$ , esto demuestra que el planteamiento de la aislación en este elemento con vidrio doble ha sido eficaz en su funcionamiento, lo que se evidencia en los cálculos, sin embargo se tiene la norma (INN, 2008) donde se indica  $2,4\text{W/m}^2\cdot\text{C}$  como máximo, lo que permite seguir repensando en el planteamiento de aislación térmica de este elemento.

La eficiencia de los materiales aislantes en este estudio de investigación, se manifiesta en los cálculos obtenidos de los elementos del cerramiento, donde la transmitancia térmica se ha reducido significativamente en todos los elementos de la envolvente del aula, sin embargo es pertinente señalar que los materiales aislantes planteadas en este estudio pueden seguir mejorándose debido a que algunos valores calculados de la transmitancia térmica aun no cumplen con lo recomendado por las normas, lo que permite seguir rebuscando nuevos materiales que provean baja transmitancia y mayor resistividad térmica.

En ese contexto los materiales utilizados deben ser los adecuados en función del proceso de transferencia de calor que estas presentan, así mismo la energía retenida por estos sean liberadas lentamente, lo cual depende del factor de proporcionalidad, denominado transmitancia térmica (Esteban, 1991), si bien es cierto que la modificación realizada en este estudio fue en un aula que fue construida anteriormente, sin embargo las soluciones de aislamiento planteado mejoraron sustancialmente los mecanismos de transferencia de calor, a pesar de ello no se lograron en muchos elementos cumplir con lo indicado en las normas lo que invita a seguir investigando con otras materiales existentes a fin de llegar a un comportamiento adecuado. Independientemente de las funciones de transferencia de calor de los elementos de la envolvente, desde el ambiente exterior al interior, es necesario que esas variaciones de la temperatura se mantengan o bien se puedan regular a través de cerramientos adecuados (Esteban, 1991), sin embargo es necesario señalar que en zonas altoandinas es necesario realizar el tratamiento con materiales aislantes por las condiciones climáticas adversas, a fin de que estos ambientes presenten un comportamiento térmico adecuado.

## Conclusiones

El tratamiento realizado con materiales aislantes en los cerramientos fue eficaz, debido a que se evidencio mejoras significativas en el comportamiento térmico de los materiales de la envolvente, ello está demostrado en los resultados obtenidos. La resistencia térmica calculada en el aula convencional fue de  $3,344\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$  y  $4,019\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$  en el aula modificada, esta diferencia de los valores evidencia que el material usado como material aislante en esta última incremento la resistencia térmica, así mismo el valor calculado de transmitancia térmica es de  $3,269\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$  en el aula convencional y  $2,659\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$  en el aula modificada, esto demuestra que el aula con tratamiento de materiales aislantes mejoro la trasmitancia de la envolvente.

Los materiales aislantes de los cerramientos deben ser los adecuados en función del proceso de transferencia de calor que estas presentan, así mismo la energía retenida por estos sean liberadas lentamente, lo cual depende del factor de proporcionalidad, denominado transmitancia térmica, si bien es cierto que la modificación realizada en este estudio fue en un aula que fue construida anteriormente, sin embargo las soluciones de aislamiento planteado mejoraron sustancialmente los mecanismos de transferencia de calor, a pesar de ello no se lograron en muchos elementos cumplir con lo indicado en las normas lo que invita a seguir investigando con otras materiales existentes a fin de llegar al confort térmico en el aula.

Las funciones de transferencia de calor de los elementos de la envolvente, desde el ambiente exterior al interior, es necesario que esas variaciones de la temperatura se mantengan o bien se puedan regular a través de cerramientos adecuados, sin embargo, es necesario señalar que en zonas altoandinas es necesario realizar el tratamiento con materiales aislantes por las condiciones climáticas adversas, a fin de que estos presenten un confort térmico adecuado.

## Referencias Bibliográficas

- Alvarenga, a. (2013). Piel de la arquitectura moderna brasileña: las soluciones de la envolvente a la luz de los conceptos de la arquitectura bioclimática. Ámbitos de investigación en energía y medio ambiente en la arquitectura de la upc - universidad politécnica de Cataluña. <http://hdl.handle.net/2117/95058>
- Barrios, G. Elias, P. Huelsz, G. Rojas, J. (2010). Selección de los materiales de muros y techos para mejorar el confort térmico en edificaciones no climatizadas. Estudios sobre arquitectura y urbanismo del desierto, VOL.III, número 3, 69-84
- Bojorquez, G. (2010). Confort Térmico en Exteriores: Actividades en Espacios Recreativos en Clima Cálido Seco Extremo. Universidad de Colima. Facultad de Arquitectura y Diseño.
- Cengel, Y. (2011). Transferencia de calor y masa. 4 ed. México D.F. 920 p. P.O. Fanger. Thermal Comfort. McGraw-Hill, New York, USA.

- Díaz, M. y Tenorio, J. (2005). Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. URI: <http://hdl.handle.net/10261/5864>
- Espinoza R., Saavedra G., Huaylla F., Gutarra A., Molina J., Barrionuevo R., Lau L. (2009). Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 13. Argentina. ISSN 0329-5184. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97335>
- Esteban, J.L. (1991). Análisis sobre el almacenamiento térmico en la edificación (Analysis of the thermal storage in construction) ICCET/CSIC/España. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.1991.v43.i416.1366>
- Filippín, C. y Flores, (2005). Comportamiento térmico de invierno de una vivienda convencional en condiciones reales de uso. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 9, 2005. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. 05.67. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/82337>
- Huaylla, F., & Gutarra, A. (2009). *Arquitectura Bioclimática con énfasis en Viviendas Altoandinas*. Lima: Ed. CER-UNI.
- INN, (2008). Norma Chilena Oficial NCh1079.Of2008 *Arquitectura y Construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*. Santiago de Chile. 44 p.
- IRAM 11603, (1996). Instituto Argentino de Normalización. *Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires. 47 p.
- Lira, L., Gonzales, O.J. y Rodríguez, E. (2008). Medición de la conductividad térmica de algunos materiales utilizados en edificaciones. Simposio de metrología, pp. 1-5. México.
- Mazria, E. 1979. *The Passive Solar Energy Book*. Pensilvania. Rodale Press. 435 p.
- NBE-CT-79, (1979). Ministerio de Vivienda-España. *Norma Básica de la Edificación: Condiciones Térmicas en los Edificios*. Madrid: Ed. Ministerio de Vivienda.
- ONNCCE, (2009). *Industria de la construcción-aislamiento térmico- Valor R para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana - Especificaciones y Verificación*. México D.F. 8 p.
- Peña, G. (2008). Conductividad térmica efectiva promedio de polvos de arcillas utilizadas en la industria cerámica del área metropolitana de san José de Cúcuta”. *Revista Colombiana de Física*, vol. 40, pp. 278-280, 2008.
- Quispe, E. (2013). *Tecnologías de confort térmico en edificaciones de instituciones educativas de la zona altoandina de la región Puno*. Universidad Nacional del Altiplano de Puno Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.
- RNE, (2014) Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, EM.110 *Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética*. Lima. 50 p.
- Sassi, F., Mzali, A. Jemnia and Nasrallah, S. B. (2005). Hot-Wire Method for Measuring Effective Thermal Conductivity of Porous Media”. *Journal of Porous Media*, vol. 8, no. 2, pp. 97-113, 2005. DOI: 10.1615/JPorMedia.v8.i2.10
- Toyinbo, O.; Shaughnessy, R.; Turunen, M.; Putus, T.; Metsämuuronen, J.; Kurnitski, J.; Haverinen-Shaughnessy, U. (2016). Building characteristics, indoor environmental quality, and mathematics achievement in Finnish elementary schools. *Building and Environment*, 104, 114–121. doi:10.1016/j.buildenv.2016.04.030
- Varini, C. (2013). *Ecoenvolventes I+D. Envolventes arquitectónicas con alto desempeño térmico y bajo impacto ambiental para zonas geoclimáticas tropicales*. Vol. 65, N° EXTRA-1, 23-30, septiembre 2013 ISSN: 0020-0883. eISSN: 1988-3234. doi: 10.3989/ic.11.147
- Vázquez, M. (2000). *Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales*, Informes de la construcción, n° 471, Madrid: consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Eficacia de los materiales aislantes en el comportamiento térmico de la envolvente en aulas escolares. *Ccama Condori H. A., Aza Medina L. C., Abarca Ancori A.*

- Walter, E., Agüero, M., Watkins, M. y Mansilla, G.(2011) Escuela Bioclimática y Sustentable SECUNDARIA N° 39 - Villa de Antofagasta de la Sierra - Catamarca Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable. <https://core.ac.uk/download/pdf/296392286.pdf>
- Wargoeki, P., Wyon, D.P. (2006). Research report on effects of HVAC on student performance”. ASHRAE Journal 48: p. 22-28.