



ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONFORT TÉRMICO DE AULA CONVENCIONAL Y AULA MODIFICADA CON TECNOLOGÍAS BIOCLIMÁTICAS EN LA I.E.S. PACAJE – MACUSANI

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL COMFORT OF A CONVENTIONAL CLASSROOM AND MODIFIED CLASSROOM WITH BIOCLIMATIC TECHNOLOGIES IN THE I.E.S. PACAJE – MACUSANI

Hugo Anselmo Ccama Condori

Universidad Nacional del Altiplano - Puno. Escuela Profesional de Arquitectura y Urbanismo Av. Sesquicentenario N° 1154 Ciudad Universitaria, Puno, Perú. arkishugo@hotmail.com

RESUMEN

Este estudio se basó en el entendimiento del confort térmico en aulas escolares de las zonas altoandinas a más de 4000 m.s.n.m. donde los aspectos climáticos son adversos para el proceso de enseñanza y aprendizaje. El objetivo fue analizar comparativamente los parámetros ambientales, parámetros constructivos y sensación térmica percibida en relación con el confort térmico del aula convencional, con un aula modificada con tecnologías bioclimáticas en la I.E.S. Pacaje – Macusani. Metodológicamente el estudio consistió en evaluar el aula seleccionada en 02 periodos, la primera en su situación original (aula convencional) evaluada en junio del 2015, la segunda con tratamiento de tecnologías bioclimáticas (aula modificada) evaluada en junio del 2016. Los resultados revelan diferencias significativas en las variables estudiadas, la temperatura media mensual calculada para el aula convencional fue de 6.60°C y para la modificada fue de 13.36°C, la humedad relativa media mensual calculada fue de 38,47% para el aula convencional y para la modificada fue de 53,60%, la velocidad del viento media calculada fue de 0,91m/s para el aula convencional y 0,33m/s para la modificada, la resistencia térmica fue de 1,730m²C/W para el aula convencional y 2,084m²C/W para la modificada, la transmitancia térmica calculada fue de 3,269W/m²C para el aula convencional y 2,659W/m²C para el aula modificada, la temperatura media neutral calculada fue 8,6°C para el aula convencional y para el aula modificada fue de 12,82°C, todos estos valores revelan una mejora del confort térmico del aula tras el tratamiento con tecnologías bioclimáticas.

Palabras clave: Ambiente interior, aula, confort térmico, parámetros ambientales, parámetros constructivos y tecnologías bioclimáticas.

ABSTRACT

This research was based on the understanding of thermal comfort in classrooms of the high Andes at 4000 m. above sea level, where climatic aspects are averse to the process of teaching and learning. The objective was to analyze comparatively the environmental parameters, constructive parameters and perceived thermal sensation in relation to the thermal comfort of the conventional classroom, with a classroom modified with bioclimatic technologies in the I.E.S. Pacaje - Macusani. Methodologically, the study consisted in evaluating the selected classroom in 02 periods, the first one in its original situation (conventional classroom) evaluated in June 2015, the second one with treatment of bioclimatic technologies (modified classroom) evaluated in June 2016. The results reveal significant differences in the variables studied, the average monthly temperature calculated for the conventional classroom was 6.60°C and for the modified was 13.36°C, the average monthly relative humidity calculated was 38.47% for the conventional classroom and for the modified was 53.60%, the average wind speed calculated was 0.91m/s for the conventional classroom and 0.33m/s for the modified one, the thermal resistance was 1,730m²C/W for the conventional classroom and 2,084m²C/W for the modified one, the thermal transmittance calculated was 3,269W/m²C for the conventional classroom and 2,659W/m²C for the modified classroom, the calculated neutral average temperature was 8.6°C for the classroom conventional and for the modified classroom was of 12.82°C, all these values reveal an improvement of the thermal comfort of the classroom after the treatment with bioclimatic technologies.

Keywords: Bioclimatic technologies, building parameters, classroom, environmental parameters, indoor environment and thermal comfort.

*Autor para correspondencia: arkishugo@hotmail.com





INTRODUCCION

El confort térmico está basado en las sensaciones fisiológicas y psicológicas generadas por los estímulos del ambiente térmico (Bojorquez, 2010), así mismo es expresada como la satisfacción psicofisiológica del ser humano con respecto al ambiente térmico (Nikolopoulou & Steemers, 2003), de la misma manera se señala que es un concepto que expresa el bienestar fisiológico y psicológico del individuo dentro del ambiente donde desarrolla sus actividades y que no presente incomodidad (Fernández, 1994); en ese sentido el confort térmico, está directamente relacionado con el bienestar fisiológico y psicológico del individuo, aspectos que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un ambiente (Miranda, 2008).

Un ambiente térmicamente confortable siempre fue una de las prioridades del ser humano a la hora de crear una vivienda o refugio, esto lo podemos observar en las construcciones tradicionales alrededor del mundo (Bojorquez, 2010), así mismo se sostiene que el control del ambiente y la creación de condiciones adecuadas a sus necesidades y al desarrollo de sus actividades son cuestiones que el ser humano se ha planteado desde sus orígenes (Guimarães, 2008), en ese sentido un ambiente térmico debe permitir que los usuarios de estos ambientes estén en confort para que puedan desarrollar de manera adecuada sus actividades (ISO 7730, 2005), a este respecto se debe precisar que el confort térmico tiene profundas implicaciones en el modo en el que se diseñan y gestiona las edificaciones, así como en la cuantificación de la energía requerida para calentar o enfriar (Zhang *et al.*, 2010).

Sin embargo es necesario señalar que el control térmico del ambiente, es resultado de la conjunción de múltiples factores, incluyendo los parámetros constructivos referidos a las propiedades de conductividad, resistividad y transmitancia térmica (Esteban, 1991), de la misma manera hay otros factores de diseño que afectan al desempeño térmico-energético de los edificios, como los parámetros ambientales referidos a los aspectos climáticos como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento (Martinez, 2005), estos aspectos señalados no pueden ser desconsiderados por los proyectistas; por lo tanto el objetivo fundamental al diseñar un ambiente, es asegurar el bienestar térmico de sus ocupantes, con una demanda energética compatible con la actividad que desarrolla al interior (Esteban, 1991).

En ese contexto las tecnologías bioclimáticas juegan un papel importante en las soluciones de la envolvente, permitiendo el control pasivo de las ganancias térmicas en las superficies y mejorando las condiciones en el ambiente (Varini, 2013), la intención de la aplicación de las tecnologías bioclimáticas es mejorar el confort en el ambiente sin el uso de medios mecánicos de ganancia térmica en la envolvente (Vásquez, 2012). En ese sentido estas tecnologías constructivas deben presentar alta resistencia y baja transmitancia térmica (Varini, 2013), en general el objetivo de incluir tecnologías bioclimáticas es mejorar el ambiente permitiendo lograr ganancias internas de confort, con una envolvente mejorada (Filippín y Larsen, 2005).

Los cerramientos con tecnologías bioclimáticas se caracterizan por absorber, transmitir y acumular energía; estos son los elementos que determinan el control o la modificación de las condiciones térmicas (Varini, 2013), así mismo estos diseños implican el estudio exhaustivo de estas tecnologías a fin de garantizar un ambiente interior saludable (González, 2010), por lo que el uso adecuado de estas tecnologías deben permitir un correcto funcionamiento del sistema instalado (Guerrero, 2015). Sin embargo, en la actualidad se observa en las edificaciones que, gran cantidad de construcciones utilizan sistemas mecánicos como solución técnica para





incrementar la temperatura del ambiente interior, por lo que se requiere repensar en la forma de plantear soluciones que sean sostenibles y que utilicen energías renovables.

En referencia al párrafo anterior se tiene el estudio realizado por Quispe (2013) sobre confort térmico en locales escolares en zonas altoandinas, donde se simularon y analizaron distintas variantes de mejora de la envolvente con tecnologías bioclimáticas, donde se reporta un incremento de la temperatura media mensual en 5°C , así mismo Flores (2014) realizó el estudio de investigación realizando las mejoras a una vivienda rural, el estudio se llevó a cabo en una altitud de 3868.00 m.s.n.m., se evaluó en el mes más crítico, mes de junio, los resultados reportan incremento de temperatura media mensual de 6.16°C respecto a la vivienda típica.

Molina y Horn (2016) evaluaron el desempeño térmico de un módulo con la inclusión de tecnologías bioclimáticas, el estudio se realizó a una altitud de 3700 m.s.n.m., en junio del 2016, se observó en el interior una temperatura media mensual de 13.8°C , así mismo se tiene el estudio realizado por Espinoza *et al.*, (2009) donde se incluyeron tecnologías bioclimáticas como alternativas de solución a la problemática que genera el frío intenso en la zona altoandina, reportándose un incremento de 11°C de promedio mensual. Por otro lado Gomez *et al.*, (2010) realizaron el estudio térmico entre los 4000 y 4500 m.s.n.m. donde, realizaron diferentes modificaciones constructivas, reportándose un incremento de los mínimos de temperatura hasta los 11°C , así mismo el estudio realizado por Olivera (2011) señala que la instalación de tecnologías bioclimáticas a más de 4000.00 m.s.n.m. mejora el confort térmico del ambiente, logrando incrementar en dicho estudio la temperatura interior en 3°C .

Por lo mencionado, el objetivo que se planteó el estudio fue analizar comparativamente los parámetros ambientales, parámetros constructivos y sensación térmica percibida en relación al confort térmico de un aula convencional, con un aula modificada con tecnologías bioclimáticas en la I.E.S. Pacaje – Macusani.

MATERIALES Y MÉTODOS

La unidad de análisis es un aula ubicada en la zona altoandina, específicamente en la localidad de Pacaje ($14^{\circ} 04' 12''$ latitud sur; $70^{\circ} 26' 20''$ longitud. Oeste; a una altitud de 4345 m.s.n.m.), perteneciente al distrito de Macusani, provincia Carabaya, región Puno.

La estrategia adoptada en este estudio fue evaluar el aula seleccionado como unidad de análisis en 02 periodos de tiempo, la primera evaluación se realizó en su situación original (aula convencional), evaluada en junio del año 2015, así mismo se ha evaluado con tratamiento de tecnologías bioclimáticas (aula modificada) en junio del año 2016.

Las tecnologías constructivas planteadas en el aula modificada son: muros aislados con tecnopor de 2" (poliestireno expandido) que tiene una conductividad térmica de $0.43 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, los cuales fueron revestidos con placas de yeso el mismo que tiene una conductividad térmica de $2,50 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$; la cubierta fue tratada con poliestireno expandido de 2" y placas superbord con una conductividad térmica de $2.70 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ (Figura 1).



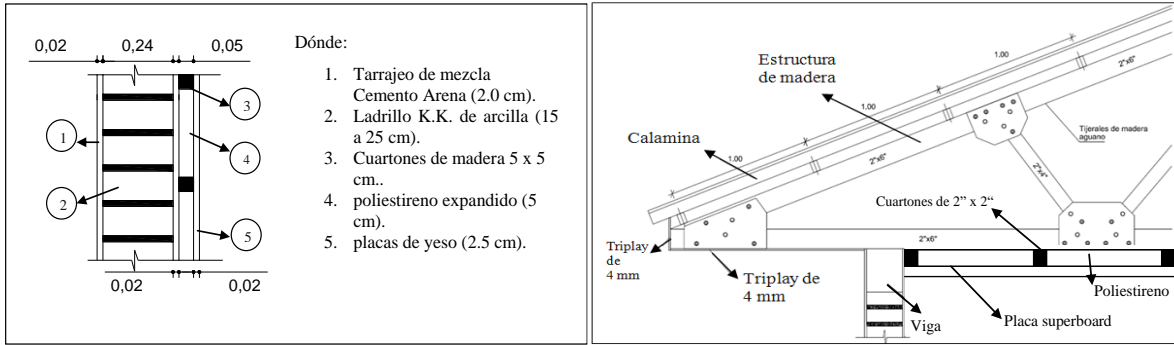


Figura 1. Cerramiento en muros y cubierta de aula modificada, I.E.S. Pacaje, 2016

El piso fue aislado con tecnopor de 2'', y como acabado se colocó la madera machihembrada que presenta una conductividad térmica de 0.14 W/m°C, las ventanas fueron vidrios dobles de espesor 6mm la misma que presenta una conductividad térmica de 5.6 W/m°C.

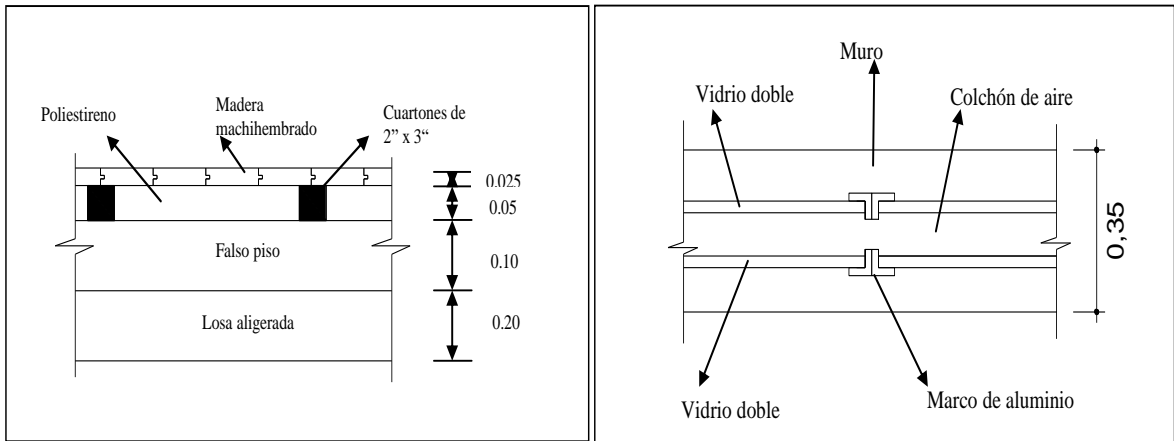


Figura 2. Cerramiento en pisos y ventanas de aula modificada, I.E.S. Pacaje, 2016

Así mismo se instaló paneles solares, las cuales captan la radiación solar para calentar el agua, la misma que funciona con 1 colector solar plano de recubrimiento fotovoltaico, que calientan agua durante el día, la misma que es almacenada en un tanque y es usada para inyectar calor en el aula a través de radiadores, estas están controladas con válvulas termostáticas (Figura 3 y 4).

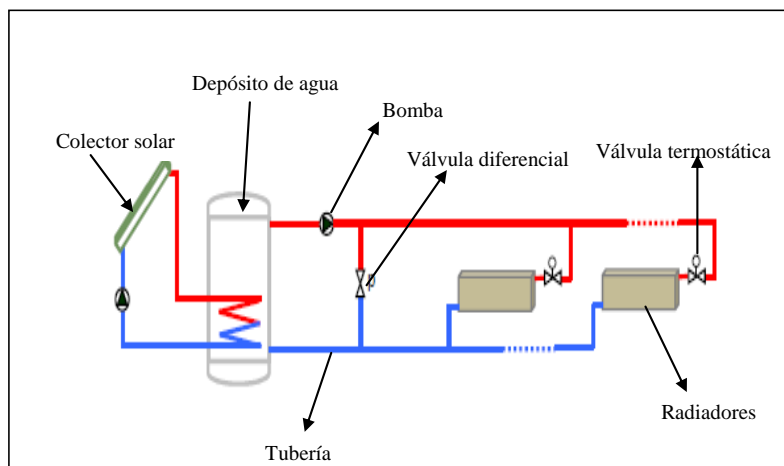


Figura 3. Esquema del sistema de calefacción solar.



Figura 4. Aula modificada I.E.S. Pacaje 2016, Izquierda: Sistema de calefactor solar, derecha: sistema de radiadores

Para evaluar los parámetros ambientales se revisó la normatividad referido a confort térmico en interiores ISO 7730 y ASHRAE 55, además de los estudios de investigación realizados sobre confort térmico (Bojorquez, 2010; Huaylla, 2010; Flores, 2014) y otros, en base a estas fueron seleccionadas como variables de estudio: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad de viento, el instrumento seleccionado fue el registrador Data Logger HOBO que registra datos meteorológicos a cada hora, esto de acuerdo a (Espinoza *et al.*, 2009). El análisis de datos se realizó a través de estadística descriptiva, prueba de Kolmogorov-Smirnov y t de student.

Dónde:

R = Resistencia térmica.

e = Espesor de la capa de material.

λ = Conductividad del material.

Para evaluar los parámetros constructivos se identificaron las tipologías de cada elemento constructivo homogéneo de la envolvente del aula, de acuerdo a lo recomendado por los autores (Díaz y Tenorio, 2005). El análisis estadístico se realizó a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov y rangos de Wilcoxon. La resistividad térmica de la envolvente (R) fue calculada a través de la siguiente expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

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

La transmitancia térmica de la envolvente (K) fue calculada a través de la siguiente expresión:

Para evaluar la sensación térmica se asumió el enfoque adaptativo de confort térmico, para lo cual se aplicó encuestas de acuerdo a la escala de sensaciones percibidas de la norma (ISO 10551, 1995), con el uso simultáneo de un termómetro que registra datos de temperatura ambiente, para el análisis se usó el estadístico por medias de intervalo de sensación térmica y se aplicó la regresión de datos registrados, para obtener el valor neutro y rango de confort térmico, esta metodología de evaluación es recomendada por (Gómez-Azpeitia *et al.*, 2007).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media mensual del aula convencional para el mes de junio, presentó un valor calculado de 6,60°C, así mismo para el aula modificada la temperatura media mensual calculado fue de 13,36°C, la diferencia entre ambos valores calculados presenta un valor de 6,76°C como incremento respecto al aula convencional, esta situación revela que el aula modificada con tecnologías bioclimáticas presenta una mejora en la temperatura interior. Por otro lado la desviación estándar de los valores registrados presentaron variabilidad, calculándose el coeficiente de variación para el aula convencional un valor de 21,37% y para el aula modificada un valor de 10,63%, esto demuestra que la temperatura en el aula convencional presenta una mayor amplitud en cuanto a las máximas y mínimas en comparación con el aula modificada, ya que esta última presenta mejoras en las condiciones del cerramiento, la diferencia del coeficiente de variación presentó un valor calculado de 10,74% valor que confirma la mejora en la temperatura interior (Tabla 1).

Tabla 1. Temperatura interior en aula convencional y modificada, mes de junio, I.E.S. Pacaje, 2015-2016

Medidas	Aula convencional medición antes (°C)	Aula modificada medición después (°C)	Diferencias de mediciones (°C)
Tamaño del grupo (n)	30	30	30
Promedio (\bar{X})	6,60	13,36	6,76
Desviación Estándar (S)	1,41	1,42	0,01
Varianza(S ²)	1,99	2,03	0,04
Coficiente de variación (%)	21,37	10,63	10,74

Fuente: Elaborado en base registro de datos

La prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov evidencia que la muestra es normal, el mismo es corroborado por el grafico cuantil-cuantil Q-Q de normalidad, por lo que se optó utilizar la prueba estadística paramétrica t student, los resultados revelan que existen diferencias significativas, calculándose un valor $t = 19,003$ y una distribución $t = 2,045$ en función de los grados de libertad (n-1) y nivel de significancia ($\alpha = 0.05$).

Los valores calculados para el aula modificada con tecnologías bioclimáticas evidencian mejoras en la temperatura del ambiente interior, los mismos que son corroborados por Gonzalo, *et al.*, (2001) quienes confirman que los ambientes escolares con implementación de tecnologías bioclimáticas, incrementan la temperatura interior, en ese sentido, este estudio reveló un incremento 6,76°C de temperatura mensual media, dicho incremento es superior a lo encontrado por (Quispe, 2013) quien reportó un incremento de temperatura promedio mensual de 5,0°C, esta diferencia se debe a que en ambos casos utilizan diferentes tecnologías bioclimáticas, así como también el aula en su situación original presentan soluciones constructivas diferentes.

Por otro lado Flores (2014) realizó las mejoras constructivas con tecnologías bioclimáticas en viviendas en zonas altoandinas, determinándose un incremento de 6,16°C de temperatura media mensual en el interior del ambiente, esta situación es corroborado por diversos autores que realizaron estudios de confort térmico en zonas de altura como (Huaylla, 2010; Saavedra, 2014) quienes reportaron el incremento de la temperatura media mensual en el ambiente tras la aplicación de tecnologías bioclimáticas.





Humedad relativa

La humedad relativa media mensual calculada en el aula convencional fue de 38,47%, sin embargo, la humedad relativa se incrementa tras efectuar el tratamiento con tecnologías bioclimáticas (aula modificada) llegando a un valor medio calculado de 53,60%, esto revela la mejora en el confort del ambiente. Por otro lado, el coeficiente de variación en el aula convencional fue de 28,75%, mientras en el aula modificada fue de 17,50% lo que evidenció que existe alta variabilidad en el aula convencional respecto al aula modificada (Tabla 2).

Tabla 2. Humedad relativa interior en aula convencional y modificada, mes de junio en la I.E.S. Pacaje, 2015-2016

Medidas	Aula convencional medición antes (%)	Aula modificada medición después (%)	Diferencias de mediciones (%)
Tamaño del grupo (n)	30	30	30
Promedio (\bar{x})	38,47	53,60	15,13
Desviación Estándar (S)	10,99	9,38	1,61
Varianza(S ²)	120,94	88,11	32,83
Coeficiente de variación (%)	28,75	17,5	11,25

Fuente: Elaborado en base registro de datos

La prueba estadística de normalidad Kolmogorov-Smirnov evidencia que la muestra presenta normalidad, el mismo es corroborado por el gráfico cuantil-cuantil Q-Q de normalidad, por lo que se optó por utilizar la prueba estadística paramétrica t student, los resultados revelan que existen diferencias significativas, calculándose un valor $t = 7,889$ y una distribución $t = 2,045$ en función de los grados de libertad (n-1) y nivel de significancia ($\alpha = 0.05$).

La humedad relativa media mensual en el aula modificada presentó un valor calculado de 53,60%, el mismo que se encuentra dentro de lo recomendado por la norma técnica peruana (EM.110, 2014), donde establece que la humedad relativa en ambientes interiores debe oscilar del 50% \pm 5%.

Por otro lado, el aula convencional presenta un valor medio de 38,47% este registro se encuentra por debajo de lo recomendado por la norma citada anteriormente. De otro lado el aula modificada se mantuvo con una humedad relativa media entre 42,20% y 64,7%, rango que se encuentra dentro de las condiciones de confort por humedad establecidas por Olgyay (1963), así mismo Tariku *et al.*, (2011) sostienen que la humedad relativa sin influencias aparentes debe oscilar entre los valores de 40.00% y el 60.00%, del mismo modo Saavedra (2014), quien considera satisfactorio el intervalo entre el 30.00% y el 70.00% de humedad relativa, lo que permite afirmar que la humedad relativa evidenciada en este estudio de investigación se encuentra dentro de los rangos de confort señalados por los autores citados.

Velocidad del viento

La media muestral calculada de velocidad del viento en el aula convencional fue de 0,90m/s y disminuyó este tras efectuar el tratamiento con tecnologías bioclimáticas (aula modificada) llegando a un valor promedio calculado de 0,33m/s, la desviación estándar fue mayor en el aula convencional, sin embargo, el aula modificada presentó un valor relativamente menor, esto debido al tratamiento de esta con tecnologías bioclimáticas. El coeficiente de variación





evidenció que en ambas situaciones presenta alta variabilidad, mostrando valores calculados por encima de los 50% lo que permite señalar que existen amplitudes significativas en cuanto a los valores registrados, esto se debe a que el aula estudiada presenta una comunicación directa con el ambiente exterior, lo que permite repensar en el planteamiento antes del ingreso al aula con espacio previo afín de que no ingrese el aire frío (Tabla 3).

Tabla 3. Velocidad del viento interior en aula convencional y modificada, mes de junio en la I.E.S. Pacaje, 2015-2016

Medidas	Aula convencional medición antes (m/s)	Aula modificada medición después (m/s)	Diferencias de mediciones (m/s)
Tamaño del grupo (n)	30	30	30
Promedio (\bar{X})	0,90	0,33	0,57
Desviación Estándar (S)	0,49	0,11	0,38
Varianza (S^2)	0,25	0,12	0,13
Coefficiente de variación (%)	53,85	50,00	3,85

Fuente: Elaborado en base registro de datos

La prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov evidencia que la muestra es normal, así mismo es corroborado por el gráfico cuantil-cuantil Q-Q de normalidad, por lo que se optó utilizar la prueba estadística paramétrica t student, los resultados revelan que existen diferencias significativas, calculándose un valor $t = 7,154$ y una distribución $t = 2,045$ en función de los grados de libertad (n-1) y nivel de significancia ($\alpha = 0.05$).

El valor medio encontrado para el aula modificada de 0,33 m/s es superior a lo recomendado por el reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE, 2017) donde se señala que la velocidad del viento debe oscilar entre 0.15- 0.20m/s, así mismo es superior a lo indicado en la norma del (MINEDU, 2006) donde recomienda que la velocidad del viento debe estar entre los valores 0 a 0.2 m/s. esto demuestra que la solución constructiva bioclimática adoptada en este estudio aun no cumple con los estándares recomendados, por lo que se debe mejorar y probar otras alternativas constructivas.

Objetivo específico (b). Comparar los parámetros constructivos

La resistividad térmica de los elementos del cerramiento de la envolvente del aula, revelaron mejoras en el comportamiento térmico de los distintos elementos homogéneos, los resultados revelan que el aula convencional presenta un valor total calculado de 1,730 m²C/W y el aula modificada un valor calculado de 2,084 m²C/W lo que permite afirmar que hubo incremento de la resistividad térmica. Por otro lado, la diferencia de los valores calculados reportó un valor de 0,354 m²C/W lo que demuestra la mejora del comportamiento térmico (Tabla 4).





Tabla 4. Resistividad térmica del cerramiento en aula convencional y modificada, I.E.S. Pacaje, 2015-2016

Elemento de la envolvente	Aula convencional Resistividad térmica m ² °C/W	Aula modificada Resistividad térmica m ² °C/W	Diferencias Resistividad térmica m ² °C/W
Muros	3,344	4,019	0,675
Columnas	5,956	6,462	0,506
Vigas	6,408	7,083	0,675
Cubierta	1,114	1,470	0,355
Piso	0,334	0,355	0,022
Ventanas	0,568	0,837	0,268
Puertas	0,204	0,207	0,003
Total	1,730	2,084	0,354

Fuente: Elaborado en base modelos matemáticos

La prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, y el gráfico cuantil-cuantil Q-Q de normalidad evidenciaron que la muestra no presenta normalidad, por lo que se empleó la prueba estadística de rangos de Wilcoxon, los resultados revelan que existen diferencias significativas, calculándose un valor $p = 2,7202E-7$ que es menor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$).

El aula modificada reporta un valor calculado para muros y cubiertas de 4,019 m²°C/W y 1,470 m²°C/W respectivamente, sin embargo la norma (ONNCCE, 2009) recomienda 3.80 m²°C/W para muros, y para cubiertas 2,65 m²°C/W, esto nos permite afirmar que en los muros se llega a superar el valor de la norma citada, lo que demuestra la eficacia de la tecnología planteada en este estudio, sin embargo en la cubierta el valor encontrado es menor a la norma, lo que demuestra que los materiales constructivos adoptados como la calamina, tecnopor, plancha superboard, no han logrado ser eficiente en la resistencia térmica, así mismo se pudo observar que los elementos que presentan mayor resistividad son las vigas y columnas por ser de material concreto que tienen una resistividad alta.

Transmitancia térmica

La transmitancia térmica de los elementos de cerramiento del aula, revelaron mejoras tras el tratamiento con tecnologías bioclimáticas, los resultados finales calculados del aula modificada presentan valores inferiores respecto al aula convencional, para el caso del aula convencional presento un valor final de 3,26 W/m².°C y para el aula modificada fue de 2,66 W/m².°C lo que evidenció que el aula modificada posee mejor comportamiento térmico en la envolvente, así mismo se puede observar que los valores calculados para el aula convencional presentan valores superiores respecto al aula modificada, lo que confirma que el aula modificada presenta un mejor comportamiento térmico (Tabla 5).

Tabla 5. Transmitancia térmica del cerramiento en aula convencional y modificada, I.E.S. Pacaje, 2015-2016

Elemento de la envolvente	Aula convencional Transmitancia térmica W/m ² .°C	Aula modificada Transmitancia térmica W/m ² .°C	Diferencias Transmitancia térmica W/m ² .°C
Muros	2,39	1,99	0,40
Columnas	0,99	0,92	0,08
Vigas	1,23	1,12	0,12





Cubierta	3,59	2,72	0,87
Piso	2,99	2,81	0,18
Ventanas	7,03	4,78	2,26
Puertas	4,89	4,83	0,07
Total	3,26	2,66	0,61

Fuente: Elaborado en base modelos matemáticos

La prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, y el gráfico cuantil-cuantil Q-Q de normalidad, evidenciaron que la muestra no presenta normalidad, por lo que se empleó la prueba estadística de rangos de Wilcoxon, los resultados revelan que existen diferencias significativas, calculándose un valor $p = 7,6543E-7$ que es menor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$).

Los valores calculados de transmitancia térmica en el aula modificada, para el caso de los muros y la cubierta fue de $1,99W/m^2 \cdot ^\circ C$ y $2,72W/m^2 \cdot ^\circ C$ respectivamente, valores que se encuentran por encima de la norma técnica peruana (EM.110, 2014). Por otro lado se tiene el estudio de Walter *et al.* (2011) quienes encontraron valores de $0,33W/m^2 \cdot ^\circ C$ para muros, y $0,64 W/m^2 \cdot ^\circ C$, para cubiertas, valores que son muy inferior a los encontrados en este estudio de investigación, presentándose diferencias significativas, esto se debe al tipo de tecnología utilizada, la misma que difiere a la planteada en este estudio, por lo que se puede afirmar que la transmitancia de la envolvente está influenciada al planteamiento de la tecnologías bioclimáticas como los colectores solares que ayudan a mejorar el confort del ambiente interior de las edificaciones.

Objetivo específico (c) Comparar la sensación térmica percibida

La temperatura neutral media para el aula convencional fue de $8,6^\circ C$ mientras que para el aula modificada presentó un valor calculado de $12,82^\circ C$, esta situación revela que el sujeto de estudio considera como temperatura neutral a la condición de adaptación del individuo en un determinado ambiente, esto coincide con (Nikolopoulou & Steemers, 2003), así mismo los cálculos de línea de regresión media evidenciaron que existe una relación muy alta con valores que representan $0,9264$ para el aula convencional y $0,9144$ para el aula modificada, esto demuestra que los sujetos de estudio (alumnado) perciben la sensación térmica de acuerdo a la temperatura del ambiente (Tabla 6).

Tabla 6. Valor neutral y rangos de confort térmico por temperatura, aula convencional y modificada, I.E.S. Pacaje 2015-2016

Característica	Aula convencional ($^\circ C$)	Aula modificada ($^\circ C$)
TAn+2DS	10,6	15,43
TAn+1DS	9,6	14,43
TAn Media	8,6	12,82
TAn-1DS	7,6	11,21
TAn-2DS	6,6	9,6
Rango extenso	4.0	5,83
Rango reducido	2.0	3,22
R^2	0.9264	0.9144

TAn: Temperatura ambiente neutral, DS: Desviación estándar,

R^2 : Coeficiente de determinación de línea de regresión media

La prueba estadística de chi-cuadrado y prueba de McNemar-Bowker, presentó un valor de $p = 0,001$ que es menor al nivel de significancia planteado en el presente estudio que es de (α



=0.05), lo que permite validar la hipótesis planteada.

La sensación térmica percibida reveló un incremento de la desviación estándar, mientras la sensación térmica va reduciéndose a frío, con una aproximación importante de la recta de regresión en función a la recta de regresión media, lo que demuestra una menor adaptación a las condiciones ambientales frías, lo descrito es similar a lo afirmado por (Nikolopoulou y Steemers, 2003), así mismo se presentó una reducción en la temperatura, de mucho frío con respecto a la de ni calor ni frío, esto es similar a lo afirmado por Mondelo, *et al.*, (1999) y Fanger (1973) (Figura 5).

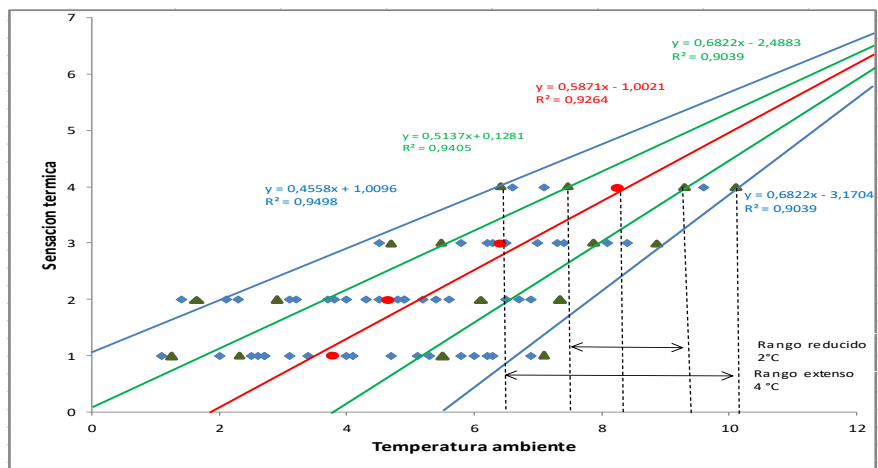


Figura 5. Línea de regresión de sensación térmica y temperatura en aula convencional, mes de junio, I.E.S. Pacaje, 2015.

El aula modificada no presentó valoraciones para el rango de mucho calor, así mismo no se registraron valoraciones para la sensación térmica de frío y mucho frío, esto debido a que los sujetos de estudio percibieron la mejora de la temperatura del aula, Por otro lado se observó que las líneas de regresión fueron ligeramente convergentes respecto a línea de regresión media, conforme se aumentó la sensación térmica a calor, lo que permite señalar que existe adaptación a estas condiciones, esto en concordancia con (Nikolopoulou y Steemers, 2003) (Figura 6).

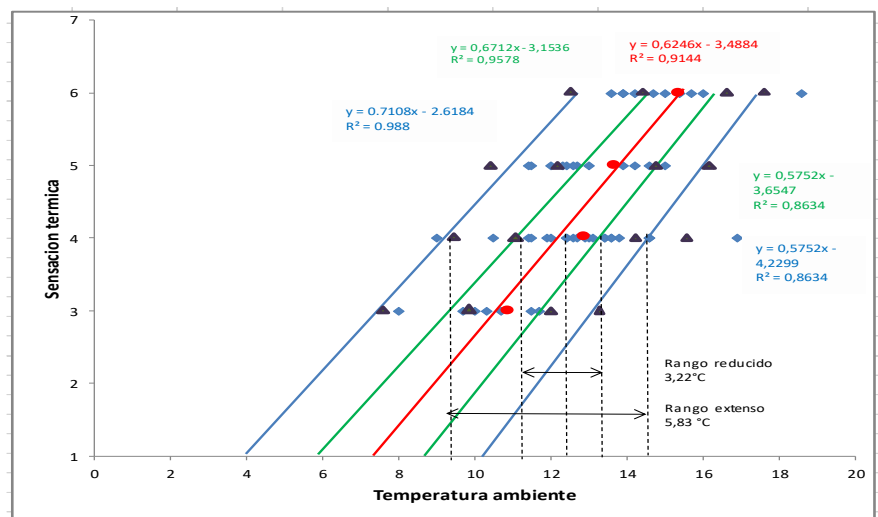


Figura 6. Línea de regresión de sensación térmica y temperatura aula modificada, mes de junio, I.E.S. Pacaje, 2016.



CONCLUSIONES

Las aulas escolares en zonas de altura son ambientes fríos, por lo que este estudio planteó una alternativa constructiva bioclimática afín de mejorar el confort térmico de estas, para ello se evaluó los parámetros ambientales y constructivos del aula, del cual se desprende mejoras significativas del confort térmico, el mismo que es corroborado por la sensación térmica percibida por parte de quienes ocupan el aula habitualmente. Se logró incrementar la temperatura a 13,36°C, la humedad relativa a 53,60% y se disminuyó la velocidad del viento a 0,22m/s, así mismo la resistividad se logró incrementar a 2,084 m²C/W y se logró reducir la transmitancia a 2,659 W/m²C, todos estos valores revelan la mejora del comportamiento térmico tras la incorporación de tecnologías bioclimáticas en el aula.

LITERATURA CITADA

- Bojórquez, G. (2010). *Confort Térmico en Exteriores: Actividades en Espacios Recreativos en Clima Cálido Seco Extremo*. Universidad de Colima. México.
- 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.
- EM.110. (2014). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, *Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética*. Lima. 50 p.
- Espinoza, R., Saavedra G., Huaylla F., Gutarra A., Molina J.; Barrionuevo R. y Lau L. (2009). Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Volumen. 13. ISSN 0329-5184.
- Esteban, J. L. (1991). Análisis sobre el almacenamiento térmico en la edificación. *Informes de la Construcción*, Volumen. 43, noviembre/diciembre. ICET/CSIC/España.
- Fanger, O. (1973). *Thermal Comfort*. Analysis and applications in environmental engineering, Ed. McGraw – Hill. USA.
- Fernández, F. (1994). Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos. *Serie Geográfica*, vol. 4, pp. 109-125. Universidad Autónoma de Madrid. España.
- Filippín, C. y Larsen, S. F. (2005). *Comportamiento energético de dos tipologías de edificios escolares en distintas localizaciones geográficas*. Santa Rosa. La Pampa. Argentina.
- Flores, A. (2014). Construcción de una Vivienda solar en base a las propiedades termofísicas y evaluación experimental de su confort térmico en Ilave. *Revista de investigación Altoandina*. Volumen 16 Numero 01,177-186.
- Gómez-Azpeitia, G.; Ruiz, R.; Bojórquez, G. y Romero, R. (2007). *Monitoreo de condiciones de confort térmico*. Comisión Nacional del Fondo para Vivienda. México.
- Gómez, A.; Saavedra, G. y Espinoza R. (2010). *Estudio térmico en módulos de viviendas ubicadas en alturas mayores a 3500 msnm*. Región Huancavelica. Lima.
- González, P. (2010). Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática. *Estudios de Arquitectura Bioclimática*, Volumen. IV. Ciudad de México.
- Gonzalo, G., Ledesma, S. y Márquez, G. (2001). *Evaluación comparativa del comportamiento lumínico y térmico de diferentes soluciones de aventanamientos para escuelas y oficinas de la provincia de Tucumán*. Vol. 5, 2001. Argentina.
- Guerrero, A. (2015). *Innovación tecnológica del eco-envolvente arquitectónica en las edificaciones de educación superior del municipio Maracaibo*. Volumen 6 Edición No 1 Julio
- Guimarães, M. (2008). *Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo Análisis térmico de la cubierta ventilada*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Huaylla, F. A. (2010). *Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú*. Lima: Ed. CER-UNI.
- ISO-10551. (1995). *International Organization for Standardization*. Ergonomics of thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Ginebra
- ISO 7730. (2005). *International Organization for Standardization*. Ergonomics of the thermal environment-analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Ginebra.
- Martinez, C. F., y Martinez, C. (2005). Comportamiento termico-energetico de envolvente de vivienda en S. M. de Tucumán en relación a la adecuación climática. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 9. ISSN 0329-5184.
- MINEDU. (2006). *Criterios Normativos para el Diseño de Locales de Educación Básica Regular Niveles de Inicial, Primaria, Secundaria y Basica Especial*. Lima: OINFE.
- Miranda, G. O. (2008). *Estudio térmico del Edificio de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile*. Santiago: Ed. Universidad de Chile.





- Móndelo, P.; Gregori, E.; Comas, S.; Castejón, E. y Bartolomé, E. (2001). *Ergonomía 2: Confort y estrés térmico*. 3ra. Edición. Barcelona: Universitat Politècnica Catalunya.
- Nikolopoulou, M. y Steemers, K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35, 95-101.
- Olgay, V. (1963). *Desing with the climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. New Jersey: Princenton, University Prees.
- ONNCCE. (2009). *Industria de la construcción-aislamiento térmico*. Valor R para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana.
- 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.
- RITE. (2017). Reglamento Instalaciones Térmicas en los Edificios. Norma Española, 1-4.
- Saavedra, G.G. (2014). *Diseño, construcción y evaluación térmica de un módulo de vivienda rural en la localidad de Vilcallamas arriba, distrito de Pisacoma, provincia de Chucuito, región Puno*. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- Tariku, F.; Kumaran, K. y Fazio, P. (2011). Determination of indoor humidity profile using a whole-building hygrothermal model. *Building Simulation*. Volumen: 4. 61-78.
- Varini, C. (2013). *Ecoenvolventes I+D. Envolventes arquitectónicas con alto desempeño térmico y bajo impacto ambiental para zonas geoclimáticas tropicales*. Volumen. 65,
- Vázquez, M. (2000). Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales, *Informes de la construcción*, Nº 471, Madrid.España.
- 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.
- Zhang, Y.; Jinyong, W.; Huimei, C.; Qinglin, M. y Rongyi (2010). Thermal adaptation in built environment, a literature review, Proceedings of Conference: *Adapting to Change: New Thinking on Comfort*.

