

RESEARCH ARTICLE

Análisis comparativo del confort térmico y optimización multicriterio del sistema de Bahareque en viviendas de la ciudad de Cuenca

Diana Carolina Sempértégui Vélez ¹  Beatriz Rivela Carballal ^{1,2} 

¹ Universidad Católica de Cuenca. Unidad de Postgrados. Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable. Cuenca, Ecuador.

² inViable Life Cycle Thinking. Madrid, España.

 Correspondencia: diana.sempertegui.52@est.ucacue.edu.ec  + 593 982951865

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj61054>

Resumen: En el diseño arquitectónico del futuro será de especial atención el consumo de energía, el confort térmico y la satisfacción de los miembros de ese espacio en un contexto fuertemente condicionado por los retos de sostenibilidad. Esta investigación aborda un análisis comparativo entre el sistema constructivo de bahareque y las paredes hechas de ladrillo y bloque. En la ciudad de Cuenca, los resultados del análisis se efectuaron mediante el método de Fanger que cocontempla un rango moderadamente confortable para el sistema bahareque; en tanto, las soluciones analizadas se caracterizan por un ambiente térmico poco confortable. Posteriormente, se aplica una metodología multicriterio con el objetivo de optimizar el comportamiento del sistema de bahareque, contemplando las variables ambiental, económica y social de diferentes configuraciones. Los resultados señalan, desde un punto de vista global, la pertinencia de incorporar lana de oveja como material aislante en el interior de las paredes de bahareque, seguido de la celulosa y espuma flex..

Palabras claves: bahareque, confort térmico, construcción sostenible.

Comparative analysis of thermal comfort and multicriteria optimization of the Bahareque system in dwellings in the city of Cuenca

Abstract: The architectural design of the future requires paying special attention to energy consumption, thermal comfort and occupant satisfaction, in a context strongly conditioned by sustainability challenges. In the first place, the present investigation deals with a comparative analysis of the bahareque construction system with different masonry walls (brick and block) in the city of Cuenca, showing the results of the analysis by means of the Fanger method a range of moderately comfortable and comfortable for the bahareque system, while the other solutions analyzed are characterized by an



Cite: Sempértégui Vélez, D. C., & Rivela Carballal, B. (2023). Análisis comparativo del confort térmico y optimización multicriterio del sistema de Bahareque en viviendas de la ciudad de Cuenca. Green World Journal, 6(1), 054.

<https://doi.org/10.53313/gwj61054>

Received: 10/January/2023

Accepted: 28/February/2023

Published: 25/March/2023

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.

Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial

editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2023 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

uncomfortable thermal environment. Subsequently, a multicriteria methodology is applied with the objective of optimizing the behavior of the bahareque system, contemplating the environmental, economic and social variables of different configurations. The results indicate, from a global point of view, the relevance of incorporating sheep wool as an insulating material inside bahareque walls, followed by cellulose and flex foam.

.Keywords: bahareque, thermal comfort, sustainable construction

1. Introducción

Dentro de la planificación y construcción de una edificación, es necesario contemplar el cumplimiento de estándares y las funciones que garanticen el bienestar de los usuarios. Para ello se realizan estudios referentes al confort térmico, que hace referencia a la situación dentro del ambiente interior de una construcción en que no exista distracciones o molestias que incomoden a las personas, es decir, que se genere un entorno de bienestar, salud y comodidad. El análisis del confort térmico en los edificios, el consumo de energía y la satisfacción de los ocupantes son cruciales en las metodologías de diseño arquitectónico del futuro [1].

Hoy en día, en el cantón de Cuenca las paredes de las viviendas se construyen generalmente con mampostería de bloque o ladrillo; sin embargo, este material presenta un gran consumo de energía, genera un volumen elevado de residuos y en su producción se emiten gases peligrosos para el medio ambiente. Los problemas del sector de la construcción relacionados con el consumo de energía y la sostenibilidad, plantean la necesidad de definir estrategias novedosas en el diseño de edificios, aprendiendo de las técnicas y sistemas constructivos usados en épocas antiguas y generando e incorporando materiales adicionales para integrar sistemas innovadores y factibles en futuras construcciones [1,2].

Debido al notorio cambio climático que empieza afectar el planeta y siendo el sector de la construcción el principal responsable de las emisiones de dióxido de carbono (39% del total) relacionadas con la energía y los procesos de obra, transporte y fabricación de materiales, utilizar materiales y soluciones sostenibles constituye una acción prioritaria, considerando que con la innovación hay un sinnúmero de oportunidades para mejorar y encarecer la construcción sostenible dejando consigo aspectos positivos como: conservación de recursos, utilización y reutilización de recursos reciclables y renovables, reducción en la utilización de energía, protección del medio ambiente, entre otros [1-3]. En este sentido, cabe señalar que la tierra es uno de los materiales sostenibles de conservación, utilizado tradicionalmente en el sector constructivo, que presenta resultados en las viviendas construidas en la ciudad de Cuenca y en la actualidad se analiza el poder retomarlo nuevamente en futuras construcciones.

La tierra apisonada es un material de construcción reciclable de baja tecnología con un buen rendimiento de almacenamiento de calor y absorción de humedad que puede mantener mejor la estabilidad del ambiente térmico interior y mejorar el confort interior [3,4]. Las técnicas de construcción con tierra en el Ecuador se remontan a la época preincaica. Éstas fueron adoptadas durante la época colonial y período republicano [5]. y constituyen un elemento constructivo de fácil acceso y empleo; su reducido costo de ejecución y adaptabilidad permite que la construcción en tierra cruda pueda desarrollarse en nuestra geografía [6].

Uno de los sistemas constructivos en tierra que ha sido identificado por su potencial contribución en la mejora integral del comportamiento de las viviendas es el bahareque, con la

finalidad de formar una lengua vernácula mejorada en viviendas de bajo costo [7]. La principal característica de esta técnica constructiva es la colocación de una estructura de postes de madera redonda o columnas plantadas directamente en el suelo, confinando las paredes de manera que las separaciones entre estos soportes verticales se cubren con superficies entretejidas de madera, paja, cañas, etc., y con un revestimiento final de barro [6–8]. La construcción con este sistema no requiere mano de obra especializada, no contamina, es antisísmica, de bajo costo y genera empleo [9].

La presente investigación se centra en el sistema de bahareque en el contexto de las viviendas del cantón Cuenca, con el objetivo de determinar su contribución al confort térmico. De manera adicional, se realiza el análisis de la incorporación de posibles materiales adicionales, proponiendo diferentes configuraciones de paredes con este sistema constructivo que mejoren las características en el interior de las edificaciones.

El cantón Cuenca se encuentra ubicado en Ecuador, en la provincia del Azuay. Según el último censo [2–4], su población es de aproximadamente 636.996 habitantes. Su latitud es de 2° 53' 12", su longitud es de 78° 59' W, la altura al nivel del mar es de 2530 msnm, la temperatura promedio varía entre 14 y 16°C, mientras que la humedad se encuentra entre un rango de 53 a 77%. Las precipitaciones anuales oscilan entre 700 y 1000 mm, con vientos promedios de 9 a 11 km/h [10]. A la luz de estos datos, es notorio que el clima es particularmente frío, mostrando la necesidad de generar ambientes cálidos y confortables en el interior de las infraestructuras. En el cantón Cuenca el uso de bahareque se encuentra en culatas, paredes divisorias internas, paredes de servidumbre, espacios de entrecubiertas, bases de cubiertas y claraboyas [9]. La cultura constructiva puede ser valorizada desde muchos aspectos, vinculada a un mayor valor tecnológico y cultural, sin dejar de lado el ambiental, histórico, social, económico [11]. Gracias a los materiales locales, extraídos y cultivados en el sitio de emplazamiento, es aún posible en localidades rurales del cantón Cuenca construir con este sistema constructivo sin problema alguno [10–12].

La adición de materiales no convencionales dentro del bahareque para mejorar sus propiedades ha mostrado buenos resultados en algunas investigaciones realizadas, como el uso de cemento para yeso y refuerzo como factor contribuyente al impacto ambiental [11–13] o uso de mortero que influye positivamente a la impermeabilidad de las viviendas [14–16]. Sin embargo, no se ha realizado un análisis con materiales que contribuyan de una mejor manera al confort térmico, donde la adición de fibras parece ser particularmente ventajosa para usar en conexión con el bahareque [17–20]. Es por ello que el presente trabajo busca analizar diferentes materiales con propiedades aislantes térmicas comprobadas (lana de roca, fibra de vidrio, poliuretano, espuma flex, celulosa, lana de oveja, cartón de huevos), para añadir al sistema constructivo, realizar su caracterización de sostenibilidad (análisis económico– ambiental–social), identificar el más favorable y proponerlo como un sistema homogéneo e innovador.

Esta investigación busca retomar sistemas constructivos antiguos y característicos del país con un enfoque sostenible y adaptado a las nuevas tendencias de confort térmico que deben ser indispensables para generar comodidad en futuras construcciones de la ciudad. Los sistemas tradicionales han perdido su esencia y la innovación toma parte de las nuevas tendencias arquitectónicas. Además, Cuenca es una ciudad que tiende a crecer a las zonas rurales y alejadas

de la zona céntrica debido a la falta de área territorial constructiva, por lo que, el uso de materiales de la zona beneficia en ámbitos sociales, económicos y ambientales.

2. Materiales y métodos

La investigación es de tipo transversal bajo una metodología prospectiva. Se realizó la toma de temperaturas y humedades de cinco paredes de mampostería tradicional (ladrillo y bloque) y cinco de bahareque con un termohidrómetro, con el fin de poder distinguir la diferencia de sensación térmica interior en edificaciones en la ciudad. Estas viviendas fueron seleccionadas aleatoriamente dentro de Cuenca en condiciones ambientales muy similares, la mayoría de ellas en días lluviosos debido al invierno que se presentaba. Al existir valores cercanos y no muy variables entre ellos, se determinó que la muestra fue suficiente para poder continuar con la investigación.

Posteriormente, se aplicó el método de Fanger para identificar la estimación de la sensación térmica. La toma de datos en paredes tradicionales permite un análisis y comparación térmica de los diferentes sistemas.

Finalmente, se realiza un análisis ambiental- económico –social para caracterizar y comparar los distintos materiales.

2.1.Paredes de mampostería (Ladrillo y bloque)

La toma de muestra se realizó en cinco viviendas que se encuentran en diferentes sectores de la ciudad (Figura 1); se intercaló los días indistintamente por las condiciones climáticas que son variadas y esto repercute en cada habitante y el confort que sienta en cada lugar donde se encuentre.

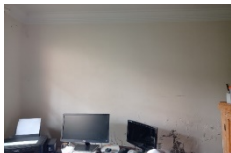
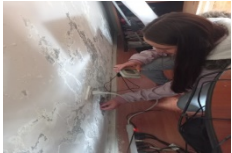
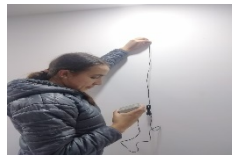
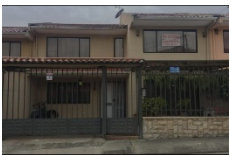


Figura 1 Ubicación de las viviendas de muestra mampostería. Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth

En la Tabla 1 se describe la ubicación con las respectivas evidencias fotográficas que avalan a la vivienda y la pared en la que fueron tomados los datos para su análisis correspondiente.

Tabla 1. Selección y características de las viviendas de paredes de mampostería.

Muestra/ Ubicación	Vivienda	Pared analizada	Toma de datos
--------------------	----------	-----------------	---------------

01/ La Tribuna y el Rebenque			
02/ Brasilia y de la OEA			
03/ De la Menta y Av. del Tejar			
04/ Av. de los Migrantes y 25 de Marzo			
05/ Enrique Malo Abad y Alfonso Ordoñez Mata			

Fuente: elaboración propia.

2.2. Paredes de Bahareque

El análisis de las viviendas se realizó en dos zonas donde predomina el sistema constructivo, tres de ellas en el centro histórico de la ciudad y dos en Llaqueo (Figura 2).

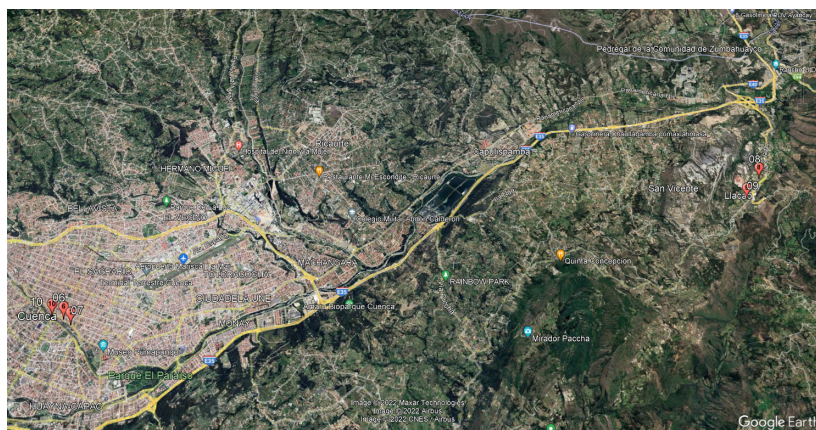


Figura 2. Ubicación de las viviendas de muestra bahareque. Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth.

En la Tabla 2 se muestra los datos referentes a las viviendas de bahareque con sus respectivas paredes que sirvieron de modelo para la toma de datos.

Tabla 2. Selección y características de las viviendas de paredes de bahareque.

Muestra/ Ubicación	Vivienda	Pared analizada	Toma de datos
06/ Calle Larga y Escalinata Juana de Oro			
07/ Calle Larga 6-70 y Hermano Miguel			
08/ Vicente Pacheco y Francisco Pérez			
09/ Jadán (-2.886247, -78.879659)			
10/ Benigno Malo y Paseo 3 de Noviembre			

Fuente: elaboración propia.

2.3. Método de Fanger

Para que un ambiente se considere confortable térmicamente, debe cumplir condiciones de confort. Fanger demostró que las situaciones confortables dependen directamente de tres tipos de variables [6]:

1. Características de la vestimenta.
2. Características de la actividad o trabajo
3. Características del ambiente

Su estudio se basó en el cálculo del voto medio estimado (PMV) y el porcentaje de personas satisfechas (PPD); el primer valor hace relación al valor medio de la sensación basada en el equilibrio térmico del cuerpo humano.

En la presente investigación se ha empleado la ecuación de Fanger, considerando los siguientes datos:

- Aislamiento de la ropa I_{cl} (m^2K/W): este factor se ve influenciado de acuerdo a la vestimenta que presenta la persona dentro del lugar de análisis. En este caso, al encontrarse en la ciudad de Cuenca, que presenta por lo general climas fríos, se consideró el índice de ropa media = 1 clo, equivalente a 0,155 m^2K/W .

Tabla 3. Valores de aislamiento de ropa.

TIPO DE ROPA	AISLAMIENTO (clo.)
Desnudo	0 clo.
Ropa Ligera (ropa de verano)	0.5 clo.
Ropa Media (traje completo)	1 clo.
Ropa Pesada (uniforme militar de invierno)	1.5 clo.

Fuente: INSHT-NTP74.

- Tasa metabólica M (W/m^2): Hace referencia al gasto energético que se desarrolla al realizar una actividad. Para la investigación se considera una tasa de 100 W/m^2 , correspondiente a una tasa metabólica baja debido a que en las viviendas analizadas las actividades laborales son realizadas fuera del hogar.

Tabla 4. Tasas metabólicas.

CLASE	TASA (W/m^2)	EJEMPLOS DE ACTIVIDADES
Descanso	65	Descansando, sentado cómodamente.
Tasa metabólica baja	100	Escribir, teclear, dibujar, coser, anotar contabilidad, manejo de herramientas pequeñas, caminar sin prisa (velocidad hasta 2,5 Km/h)
Tasa metabólica moderada	165	Clavar clavos, limar, conducción de camiones, tractores o máquinas de obras, caminar a una velocidad de entre 2,5 Km/h a 5,5 Km/h.
Tasa metabólica alta	230	Trabajo intenso con brazos y tronco, transporte de materiales pesados, pedalear, empleo de sierra, caminar a una velocidad de 5,5 Km/h hasta 7 Km/h.
Tasa metabólica muy alta	260	Actividad muy intensa, trabajo con hacha, cavado o pelado intenso, subir escaleras, caminar a una velocidad superior a 7 Km/h.

Fuente: ISO 8996.

- Caracterización térmica del entorno T_{rm} ($^{\circ}C$): La temperatura radiante media se calcula a partir de la temperatura ambiente (T_s) y la temperatura de globo (T_g), en este caso la temperatura de la pared, es la temperatura promedio que se obtiene de las muestras extraídas en campo. Además, se considera una velocidad de aire (V_a) equivalente a 5 m/s, siendo el valor medio entre el rango establecido.

$$Trm = Tg + 1,9 * \sqrt{Va} * (Tg - Ts)$$

Ecuación 1 Temperatura radiante media

Fuente: Castejón, 2015

$$PMV = (0,303 * e^{-0,036M} + 0,028) * \{(M - V) - 3,05 * 10^{-3} - [5733 - 6,99 * (M - V) - p_a] - 0,42[(M - V) - 58,15] - 1,7 * 10^{-5} * M * (5867 - p_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\}$$

Ecuación 2 Cálculo del voto medio estimado

Fuente: Castejón, 2015

- Porcentaje de personas insatisfechas (PPD): Este índice se calcula con la finalidad de estimar el porcentaje de personas que consideran la sensación térmica como desfavorable.

$$PPD = 100 - 95 * e^{-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2}$$

Ecuación 3 Porcentaje de personas insatisfechas

Fuente: Castejón, 2015

Al ser un proceso iterativo de varias variables y condicionantes existentes se empleó el programa “Bienestar térmico global y local” proporcionado por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo del Gobierno de España, basado en la norma ISO 7730 bajo la aplicación del método de Fanger.

A continuación, mediante la aplicación se obtienen como resultados informes de acuerdo a los rangos en los que se encuentran dichos valores y se cuenta con la gráfica de relación entre las variables calculadas, concluyendo si existe o no confort por parte de los ocupantes en relación a la pared base para la toma de datos realizada.

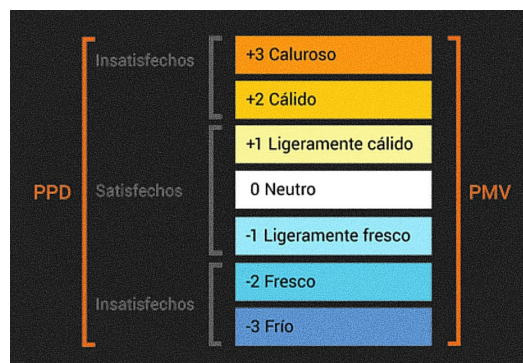


Figura 3. Rango de satisfacción o insatisfacción de acuerdo al valor de voto medio estimado y porcentaje de personas insatisfechas [6].

2.4. Encuestas

El criterio de expertos y personal de construcción es clave para identificar los factores relevantes en la construcción de bahareque en la ciudad de Cuenca. Se aplicó una encuesta al Arq. Álvaro Felipe Maldonado Valverde, magister en conservación y gestión del patrimonio cultural edificado, con doce años de experiencia en bahareque, con el objetivo de especificar las principales

características del sistema constructivo dentro de la ciudad. Posteriormente, se realizaron 26 encuestas a maestros y albañiles para conocer la afinidad y compromiso al trabajar con bahareque y las posibilidades de trabajar con materiales no convencionales. Al ser entrevistados se detectó que el ser humano es muy convencional y existe ese recelo al cambio; sin embargo, en la encuesta se va profundizando la idea de mejoras, de ahorro y buscar algo novedoso que aporte a la invención y perfeccionamiento en el campo de la construcción.

2.5. Análisis multicriterio

Para determinar el material apto para la implementación dentro del sistema constructivo y mejorar sus características térmicas, se realizó un análisis económico-social-ambiental. Este proceso fue predominante para estudiar los distintos materiales en diferentes criterios que son considerados dentro del estudio de sostenibilidad y seleccionar el material adecuado para un futuro estudio de campo; en esta diversidad de oportunidades se genera expectativas para un análisis más profundo que busca originalidad y transformación.

En cada uno de los análisis se realizó una valoración en escala ascendente (1–5), conforme a los diferentes parámetros analizados, siendo “1” el valor inferior y “5” el valor máximo alcanzable en la calificación del material. Finalmente se efectúa la sumatoria de cada uno de los análisis realizados para identificar el material más favorable desde el punto de vista global.

2.5.1. Análisis económico

Se considera el valor total de la implementación de un metro cuadrado de pared de bahareque con el material estudiado, tanto de mano de obra, materiales, importación, entrega y puesta en obra. Estos valores han sido extraídos de la base de datos de análisis de precios unitarios en el país a través de la plataforma Interpro y siempre buscando las mejores opciones para dar coyuntura a los objetivos planteados.

2.5.2. Análisis ambiental

En este punto se analizó y valoró a cada material de acuerdo al ciclo de vida que presenta hasta llegar a la obra y su implementación en el bahareque. Estos datos han sido extraídos y analizados de acuerdo a la siguiente base de referencias: fibra de vidrio (Dell', 2019), lana de oveja (Rosas, 2016), lana de roca (MATCOAM, 2021), celulosa (Zaror, 2022), poliuretano (Pu Europe, 2010), espuma flex [21–26]. y cartón de huevos (Tetra Pak, 2018). La ponderación se realizó de acuerdo a las etapas y el impacto que se genera durante la producción, puesta en obra y fin de ciclo de vida y comparando cada uno de ellos.

2.5.3. Análisis social

En el análisis de sostenibilidad es importante el impacto social que tendrá la implementación de las paredes de bahareque con sus materiales adicionales. En la presente investigación se han considerado las siguientes variables que caracterizan el aspecto social: mano de obra, generación de empleo y facilidad de adquisición de materiales y equipos utilizados para su construcción.

3. Resultados

Se ha identificado que en la ciudad de Cuenca la mayoría de edificaciones con el sistema constructivo bahareque son de tipo republicano, es decir, cuentan con la incorporación de

arriostramientos diagonales, denominados “Cruz de San Andrés”, con materiales de tierra – gramíneas, siendo éste el sistema usado desde tiempos pretéritos [27–30]. La mayoría de edificaciones de bahareque se encuentran en el centro histórico, siendo su tipología mixta, para viviendas y comercios debido a la localización en la que se ubican. En cuanto al espesor de las paredes que existen en la ciudad se presencia a partir de 10 cm y un máximo de 26cm. La mayor superficie que encontró para una pared de bahareque es de 15 m². Se observa la presencia de materiales poco convencionales dentro del sistema constructivo en algunas infraestructuras como: flores, retamas, piedras y pedazos de teja.

3.1. Aplicación método de Fanger

A partir del valor del voto medio estimado, se establece un rango entre el porcentaje de personas satisfechas, que permite establecer la conformidad o inconformidad en el interior de las viviendas de análisis (Figura 4).

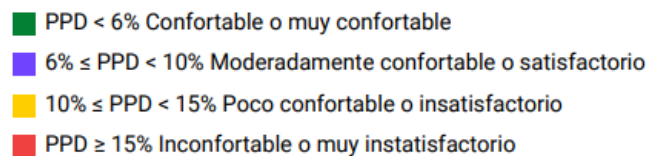


Figura 4. Valores de referencia conformidad térmica [6–8].

3.1.1. Paredes de mampostería

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante el método de Fanger para las viviendas de mampostería (Tablas 5–9):

Tabla 5. Resultados vivienda 01.

Muestra		1
Temperatura ambiente (°C)		23
Materialidad		Ladrillo
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	22,4	57
2	22,3	58
3	22,3	59
Promedio	22,33	58

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Resultados vivienda 02.

Muestra		2
Temperatura ambiente (°C)		24,2
Materialidad		Bloque
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	23,9	56
2	23,8	56
3	23,8	57
Promedio	23,83	56

Fuente: elaboración propia.

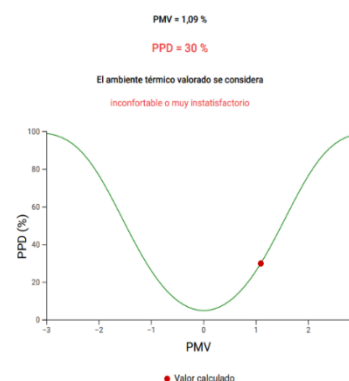
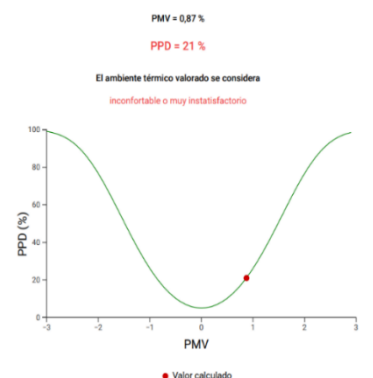


Tabla 7. Resultados vivienda 03.

Muestra	3	
Temperatura ambiente (°C)	20	
Materialidad	Ladrillo	
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	20,8	67
2	20,9	67
3	20,9	65
Promedio	20,87	66

Fuente: elaboración propia.

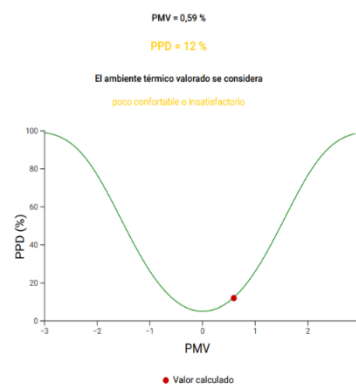


Tabla 8. Resultados vivienda 04.

Muestra	4	
Temperatura ambiente (°C)	18,3	
Materialidad	Ladrillo	
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	19,3	62
2	19,2	61
3	19,3	62
Promedio	19,27	62

Fuente: elaboración propia.

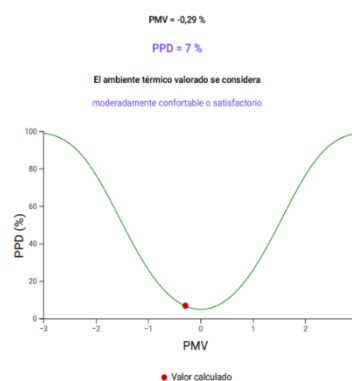
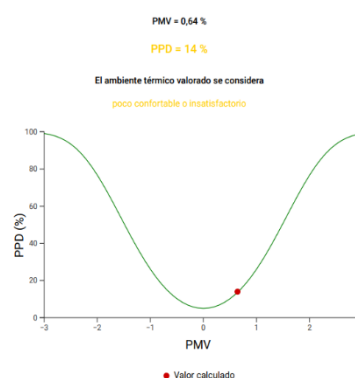


Tabla 9. Resultados vivienda 05.

Muestra	5	
Temperatura ambiente (°C)	17,6	
Materialidad	Bloque	
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	20,7	54
2	20,8	54
3	20,8	55
Promedio	20,77	54

Fuente: elaboración propia.



3.1.2. Paredes de Bahareque

Se realizó el mismo proceso mencionado anteriormente para las viviendas con paredes de bahareque (Tablas 10–14), generando los siguientes resultados:

Tabla 10. Resultados vivienda 06.

Muestra		6
Temperatura ambiente (°C)		21,3
Materialidad		Bahareque
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	21,3	43
2	21,9	44
3	20,5	36
Promedio		41

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Resultados vivienda 07.

Muestra		7
Temperatura ambiente (°C)		22,6
Materialidad		Bahareque
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	18,1	46
2	18,9	45
3	18,8	44
Promedio		45

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Resultados vivienda 08.

Muestra		8
Temperatura ambiente (°C)		16,5
Materialidad		Bahareque
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	18,1	55
2	18,2	56
3	18,2	51
Promedio		54

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Resultados vivienda 09.

Muestra		9
Temperatura ambiente (°C)		16,4
Materialidad		Bahareque
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	17,9	54
2	16,8	54
3	17,4	53
Promedio		54

Fuente: elaboración propia.

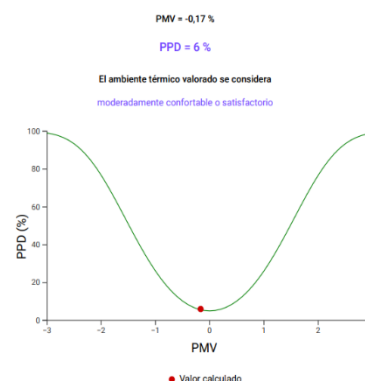
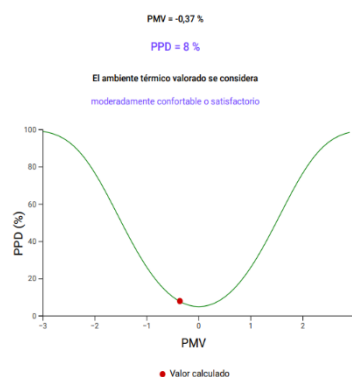
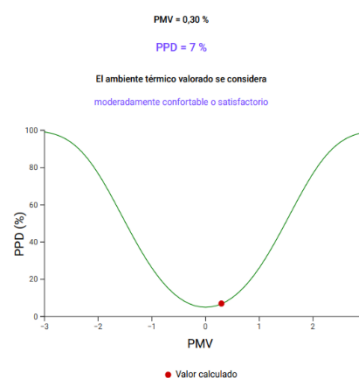
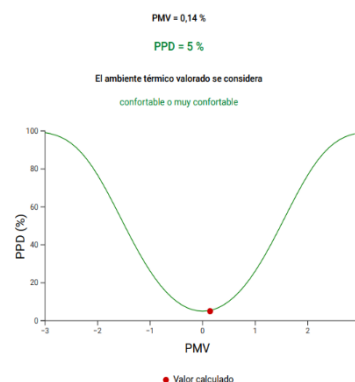
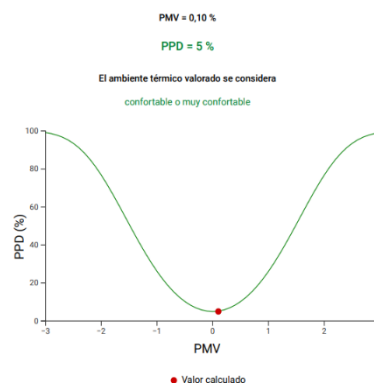


Tabla 14. Resultados vivienda 10.

Muestra		10
Temperatura ambiente (°C)		19,9
Materialidad		Bahareque
N. muestra	Temperatura pared (°C)	Humedad pared (%)
1	16,9	68
2	16,8	66
3	17,9	64
Promedio		17,20 66

Fuente: elaboración propia.



3.2. Comparación de materiales adicionales para mejorar el confort térmico

Existen varios materiales que poseen propiedades que mejoran el confort térmico dentro de una vivienda, que han sido estudiados y comprobados en construcción, generando resultados favorables. Se realizó la selección de los materiales de acuerdo a la base de datos de materiales que han sido comprobados efectivamente con propiedades térmicas dentro de la construcción, para poder compararlos en un análisis económico-ambiental-social y encontrar el más favorable para proponer su incorporación dentro del sistema constructivo bahareque y mejorar sus propiedades térmicas para futuras construcciones dentro de la ciudad.

Los materiales analizados, cuyo carácter poroso hace que contribuyan a la absorción de la humedad y permitan un ambiente confortable para los ocupantes de la edificación, son los siguientes: fibra de vidrio, lana de oveja, lana de roca, cartón de huevos, celulosa, espuma-poliuretano y espuma Flex.

3.2.1. Análisis económico

El costo por m² de construcción en muros de bahareque, con mano de obra, equipos, maquinaria, materiales e indirectos está estimado en \$90,43;

Las incorporaciones de los materiales de análisis generan valores adicionales a su adquisición, colocación y uso, los cuales se se presentan a continuación (Tabla 15):

Tabla 15. Análisis económico de los materiales adicionales seleccionados

Material	Fibra de vidrio	Lana de oveja	Lana de roca	Celulosa	Poliuretano	Espuma Flex	Cartón de huevos
Costo material /m ²	9,40	1,35	1,75	0,90	6,06	1	8
Costo total (\$)/m ²	99,83	91,78	92,18	91,33	96,49	91,43	98,43
Valoración	1	4	3	5	2	4	1

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Análisis ambiental

La Tabla 16 muestra los resultados de la valoración ambiental de los diferentes materiales objeto de estudio:

Tabla 16 Análisis ambiental de los materiales adicionales seleccionados.

Material	Fibra de vidrio	Lana de oveja	Lana de roca	Celulosa	Poliuretano	Espuma Flex	Cartón de huevos
Valoración	2	4	3	3	2	2	3

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Análisis social

Para entender el estado del bahareque dentro de la ciudad de Cuenca en cuanto a mano de obra, se realizaron encuestas para entender el compromiso por parte de maestros y albañiles para la futura construcción de este sistema y especialmente atendiendo el criterio que tienen para trabajar con materiales poco convencionales en viviendas.

Se encuestó a 26 hombres entre 22 y 57 años que se desempeñan en el área civil, especialmente en viviendas dentro de la Ciudad de Cuenca. La acogida al material para futuras construcciones fue positiva (Figura 5); en cuanto al tiempo que les tomaría construir un m² en relación a las paredes de mampostería, aumenta en un 51%, mientras que el costo varía en un 25%. Por otro lado, la disposición a trabajar con los materiales de análisis permite interpretar que el personal se sentiría más cómodo utilizando espuma flex, mientras que la fibra de vidrio no es un material agradable para su ejecución.

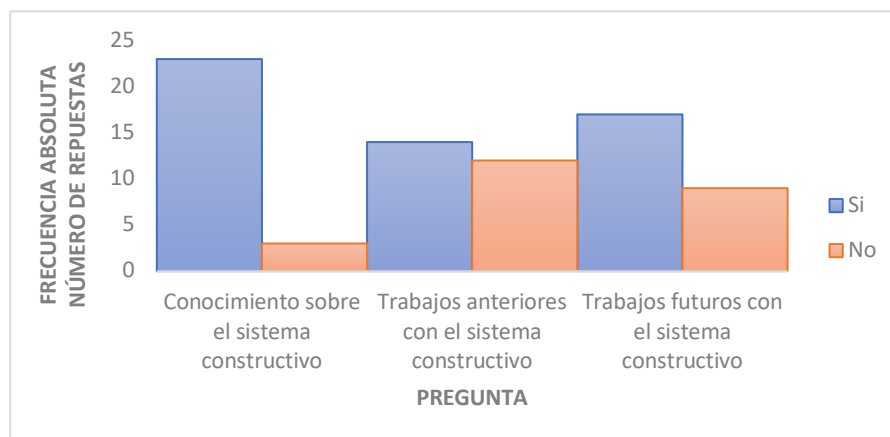


Figura 5. Frecuencia de resultados obtenidos en las encuestas. Fuente: elaboración propia.

La generación de empleo será la misma para cualquier material de análisis debido a que la cantidad de personal y tiempo de ejecución será el mismo; sin embargo, existen materiales que son de adquisición compleja debido a que requiere de importación o existe una baja demanda de venta por lo que su tiempo de entrega puede variar considerablemente. Por otro lado, los equipos a utilizar para su implementación se tratan de equipos de seguridad y herramientas menores en todos estos materiales.

Tras este análisis exhaustivo, la valoración generada por cada uno de los materiales es la siguiente (Tabla 17):

Tabla 17. Análisis social de los materiales adicionales seleccionados

Material	Fibra de vidrio	Lana de oveja	Lana de roca	Celulosa	Poliuretano	Espuma Flex	Cartón de huevos
Valoración	1	4	3	2	2	4	4

Fuente: elaboración propia

La sumatoria de los tres ítems estudiados genera un valor entero para la selección del material más recomendable para hacer conjunto con el bahareque y mejorar las propiedades térmicas del mismo (Tabla 18):

Tabla 18 Valoración global multicriterio de los materiales seleccionados.

Material	Fibra de vidrio	Lana de oveja	Lana de roca	Celulosa	Poliuretano	Espuma Flex	Cartón de huevos
Total	4/15	12/15	9/15	10/15	6/15	10/15	8/15

Fuente: elaboración propia.

4. Discusión

Los materiales utilizados actualmente requieren de mayor consumo de energía para su producción, su ciclo de vida es muy reducido al no ser materiales reutilizables y como se pudo comprobar mediante la investigación, no cumple características de aislamiento térmico [31–34].. Son estas condiciones que nos llevan a pensar en un futuro constructivo distinto al actual; al ser Cuenca una ciudad que demográficamente crece a las afueras, por la zona rural, se ve adecuado tanto constructiva como estéticamente el uso de tierra dentro de obra, siendo el bahareque una opción inigualable y así lograr recuperar la arquitectura de la ciudad que atrae el turismo [35–38]..

La investigación queda abierta para estudios de laboratorio y campo, para calcular la incidencia que tienen estos materiales en el confort térmico de paredes de bahareque en la ciudad de Cuenca, con el afán de retomar y mejorar este sistema constructivo en futuras obras de viviendas, generando tradiciones arquitectónicas únicas, innovadoras y amigables con el medio ambiente.

5. Conclusiones

Este análisis ayudó a comprobar cuantitativamente la capacidad de aislamiento térmico que presenta el sistema constructivo de bahareque en relación a las paredes de ladrillo y bloque, sistemas usados actualmente en las edificaciones dentro de la ciudad. El método de Fanger permite visualizar de manera gráfica la diferencia térmica existente entre las paredes de mampostería, que presentan un porcentaje de personas insatisfechas entre 7 y 30%, equivalente a poco confortable o muy insatisfactorio. Por otro lado, la toma de datos en paredes de bahareque presenta un porcentaje de personas insatisfechas entre 5 y 8%, es decir, confortable o moderadamente confortable, demostrando los beneficios térmicos que presenta el sistema constructivo del bahareque. Sin embargo, se busca llegar a un ambiente interior muy confortable dentro de las viviendas, por lo que se realizó un análisis económico- ambiental- social de diferentes materiales en el mercado, dando como resultado que la lana de oveja presenta la mejor valoración dentro de este estudio, seguido por la celulosa y espuma flex. El uso de estos materiales ha sido estudiado debido a sus características térmicas, sustentables y adaptables al medio constructivo, por lo que se pueden usar e incorporar dentro del sistema bahareque en la ciudad de Cuenca.

Agradecimientos

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología(CAT), y Sistemas embebidos

y Visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias:

1. Abadel, A., Abbas, H., Albidah, A., Almusallam, T., & Al-Salloum, Y. (n.d.). Effectiveness of GFRP strengthening of normal and high strength fiber reinforced concrete after exposure to heating and cooling. *Engineering Science and Technology, an International Journal*.
2. Alavedra, P., Dominguez, J., Gonzalo, E., & Serra, J. (1997). La construcción sostenible: el estado de la cuestión. *Informes de La Construcción*, 49(45), 1–7.
3. Aliconi, T., & Arias, R. (2019). *Para optar el Título Profesional de Arquitecto Escuela Académico Profesional de Arquitectura*.
4. Arslan, M. E., Aykanat, B., Ayyıldız, M. A., Subaşı, S., & Maraşlı, M. (2022, July). Effects of basalt and glass fiber composites usage for strengthening on the cyclic behavior of brick infill walls. *Journal of Building Engineering*, 104405. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104405>
5. Cannavale, A., Ayr, U., Fiorito, F., & Martellotta, F. (2020). Smart Electrochromic Windows to Enhance Building Energy Efficiency and Visual Comfort. *Energies*, 13(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/en13061449>
6. Castejón Vilella, E. (2015). *NTP 74: Confort térmico – Método de Fanger para su evaluación*.
7. Cuitiño-Rosales, M. G., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2019, October 15). Aportes para el análisis comparativo del comportamiento higrotérmico y mecánico de los materiales de construcción con tierra. *Revista de Arquitectura*, 138–151. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2348>
8. Dell', T. (2019). *Análisis del impacto ambiental del reciclaje de las embarcaciones construidas en fibra de vidrio*. Universitat Politècnica de Catalunya.
9. Edwin, Z. E., Habert, G., & Lopez Muñoz, L. F. (2014). Environmental savings potential from the use of bahareque (mortar cement plastered bamboo) in Switzerland. *Key Engineering Materials*, 600, 21–33. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.600.21>
10. Esperanza Garzón, L. (2015). *Prototipo de vivienda social sostenible. bahareque prefabricado con tierra. una alternativa técnica, cultural y ecológica*.
11. Figueroa, F. E., Álvaro, Valverde, M., Coronel, P. M., & Consultores, A. (2015). *Caracterización constructiva de elementos estructurales en el bahareque: fibras, amarres y ataduras como representación cultural del Azuay*.
12. Flores Calvario, A., & Rodríguez Licea, M. (2020, January). The pajarete Construction System in Traditional Housing in the State of Colima, Mexico. *Intervención-revista internacional de conservación restauración y museología*, 1–3.
13. Gutiérrez, & González. (2005a, December 1). Structural performance of bamboo “bahareque” walls under cyclic load. *Journal of Bamboo and Rattan*, 353–368. <https://doi.org/10.1163/156915905775008345>
14. Gutiérrez, J., & González, G. (2005b, December 1). Structural performance of bamboo “bahareque” walls under cyclic load. *Journal of Bamboo and Rattan*, 353–368. <https://doi.org/10.1163/156915905775008345>
15. Henneberg de León, A. (2012, March 30). Approach to a study of bahareque damages in Zulia state, Venezuela. Some recommendations for intervention actions. *Informes de La Construcción*, 63–74. <https://doi.org/10.3989/ic.08.049>

16. Kaminski, S., Lawrence, A., Coates, K., & Foulkes, L. (2015). A low-cost vernacular improved housing design. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, 169(5), 25–31. <https://doi.org/10.1680/jcien.15.00041>
17. Landívar, C. P., Achig-Balarezo, M. C., Freire, V. C., Silva, I. S., & Martínez, F. C. (2019). Analysis and Proposal to Retrofit the Traditional Construction Systems (Earth) of the Former San José School, Cuenca, Ecuador. In *RILEM Bookseries* (Vol. 18, pp. 144–152). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3_14
18. Lara, L., & Galarza, G. (2020, March 24). Pathology in crude earth, research on constructions in the Ecuadorian andean area. *REHABEND*, 1–1.
19. Lindberg, U., Fahlén, P., Axell, M., & Fransson, N. (2017). Thermal comfort in the supermarket environment – multiple enquiry methods and simultaneous measurements of the thermal environment. *International Journal of Refrigeration*, 82, 426–435. <https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2017.06.020>
20. Maldonado, A. (2017). *Estrategias para la conservación de la cultura constructiva de bahareque en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay*. Universidad de Cuenca.
21. Marincic, I., Ochoa, J. M., & Del Río, J. A. (2012, October). Adaptive thermal comfort considering temperature and relative humidity. *Architecture, City and Environment*, 26–46.
22. MATCOAM. (2021, June 25). *Rockwool presenta el ciclo de vida del aislamiento de lana de roca*.
23. Mattone, R. (2005). Sisal fibre reinforced soil with cement or cactus pulp in bahareque technique. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), 611–616. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.016>
24. Medina, J. M., Rodriguez, C. M., Coronado, M. C., & Garcia, L. M. (2021). Scoping review of thermal comfort research in Colombia. *Buildings*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/buildings11060232>
25. Molina Vinasco, G. M., Mónica, Castaño, A. A., Londoño, A., Oscar, Parra, A., Lina; Vallejo, M., Libre, U., & Pereira, S. (2015). *Bloques de tierra comprimidos con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales reciclables: una alternativa ecológica*.
26. Montesinos González, D. (2015). *Aprendiendo construcción sostenible*. <https://es.wikipedia.org>
27. Neira, a. (2015). *acondicionamiento térmico en espacios interiores de viviendas, usando la energía solar*. Universidad del Azuay.
28. Pablo, J., Cordero, A., & Albuja, N. V. (2015). *PROPUESTA DE PANELES ESTRUCTURALES MODULARES DE BAHAREQUE PREFABRICADO DE MADERA*. <http://certificarq.es/?p=423>
29. Pesántes, M. P. (2012). *Confort térmico en el área social de una vivienda unifamiliar en CUENCA-ECUADOR*. Universidad de Cuenca.
30. Pu Europe. (2010). *Sostenibilidad y Poliuretano*.
31. Ramos, A. (2019). *Uso del bahareque de guadua con mortero en muros, y su influencia en la impermeabilidad de viviendas de bajo costo al clima lluvioso de la ciudad de Satipo Junín al 2019*. Universidad Continental.
32. Rodríguez Licea, M., & Flores Calvario, A. (2020). El sistema constructivo de pajarete en la vivienda tradicional del estado de Colima, México. *Intervención*, 1(21), 212–256. <https://doi.org/10.30763/intervencion.228.v1n21.07.2020>
33. Rosas, A. (2016). *La lana de ovino como material aislante: natural, renovable y sostenible*. Universidad Politécnica de Catalunya.
34. Saltos, J., & Pérez. Efraín. (2017). Utilización de material de espuma flex (poliestireno) para la construcción de modelos en los procesos de fundición. *REVISTA RIEMAT*, 2(1), 1–4.
35. Tenze, A., Cardoso, F., & Achig, M. C. (2020). Experiences of social participation in the recovery of vernacular heritage in southern Ecuador. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives*, 54(M–1), 603–610. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-603-2020>

36. Tetra Pak. (2018). *Análisis del ciclo de vida del envase de cartón*.
37. Yu, S., Hao, S., Mu, J., Tian, D., & Zhao, M. (2022). Research on Optimization of the Thermal Performance of Composite Rammed Earth Construction. *Energies*, 15(4).
<https://doi.org/10.3390/en15041519>
38. Zaror, C. (2022). *Análisis del ciclo de vida. Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de proceso*. universidad de concepción.



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>