



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

DISEÑO
ARQUITECTURA
Y ARTE
FACULTAD

ESCUELA DE ARQUITECTURA

TRANSMITANCIA TÉRMICA DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN TIERRA

Proyecto final de carrera previo a la obtención de título de Arquitecto.

Autor: Carlos Cabrera Cordova
Director: Arq. Pablo Esteban Ochoa

Cuenca - Ecuador
2019



Universidad del Azuay
Facultad de Diseño, Arquitectura y Arte
Escuela de Arquitectura

Proyecto Final de Carrera previo a la obtención
de título de Arquitecto

Autor
Carlos Cabrera Córdova
Director
Arq. Pablo Ochoa Pesántez

Tribunal
Carla Hermida Palacios
Natasha Cabrera Jara

Cuenca-Ecuador
2019



DEDICATORIA

A mis padres Carlos y Ximena quienes me han dado apoyo incondicional en todo el proceso de formación, por la motivación que día a día me ayudó para cumplir esta meta.

A mis hermanas quienes siempre estuvieron pendientes durante el proceso académico.

AGRADECIMIENTO

Carlos
Ximena

Arq. Pablo Ochoa
Arq. Carla Hermida
Arq. Natasha Cabrera

Arq. Carlos Contreras
Arq. Fabian Orellana
Arq. José Pesantez
Ing. José Macías

Emilia Marín
Marissa Sánchez

Resumen

Un correcto desempeño térmico depende de un adecuado espesor del envolvente. Para esta investigación se analizó las propiedades térmicas de cada elemento que conforma el sistema constructivo tradicional mediante una caracterización térmica con el aparato de placa caliente λ -MeterE-P500e. Los resultados de conductividad térmica se aplicaron a la fórmula de transmitancia, obteniendo el espesor de muro requerido para cada zona climática del país, los mismos que serán útiles para un posterior diseño de mampostería. Finalmente se determinó la viabilidad del sistema tradicional como envolvente térmico comparado con los valores de mampostería de ladrillo y bloque de hormigón.

Palabras clave:

Adobe, Factor U, Conductividad Térmica, Resistencia Térmica, Placa Caliente, Envolvente, Fachada.

ABSTRACT

A correct thermal performance depends on an adequate envelope thickness. For this research, the thermal properties of each element that makes up the traditional construction system were analyzed by means of a thermal characterization with the hot plate apparatus λ -MeterEP500e. The thermal conductivity results were applied to the transmittance formula, obtaining the required wall thickness for each climatic zone of the country which will be useful for a later masonry design. Finally, the viability of the traditional system was determined as a thermal envelope compared to the masonry values of brick and concrete block.

Key words:

Adobe, U-Factor, Thermal Conductivity, Thermal Resistance, Hot Plate, Envelope, Facade.

Glosario

Almohadillas Térmicas: Es un elemento de compensación para probar materiales sólidos y con superficies irregulares o desiguales. (Lambda-Messtechnik GmbH Dresden, s.f.).

Estado estacionario: Las variables que definen el comportamiento permanecen invariables con respecto al tiempo. (Wikipedia , 2019).

Isotérmico: Proceso mediante el cual la temperatura se mantiene constante. (Real academia española , 2018).

Polipasto: Elemento usado para trabajos de elevación y descenso de objetos en dirección vertical. (Ellsen , s.f.).

Puente térmico: Zona de la envolvente térmica que presenta una variación en la uniformidad en la construcción, sea por un cambio de espesor o de material, por el uso de materiales con diferente conductividad, por diferencia entre el área interna y externa del elemento, que conlleva a disminuir la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento (Ministerio de Fomento, 2014)

Termopares: Dispositivo para medir temperatura. (Real academia española , 2018).

INDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción

. Antecedentes	02
. Problemática	06
. Pregunta de investigación	08
. Hipótesis	10
. Objetivos	12
. Metodología	14

2. Estado del arte / Marco teórico

2.1. Estado del arte	18
2.2. Marco teórico	26
2.2.1. La tierra como material de construcción	26
2.2.2. El adobe	26
2.2.2.1 Elaboración de adobes	27
2.2.3. Normativa para construcción en tierra	29
2.2.4. La Norma Ecuatoriana de la Construcción	30
2.2.5. Confort térmico	30
2.2.6. Confort térmico en el Ecuador	30
2.2.7. Transmitancia térmica (Factor U)	30
2.2.8. Envoltente térmica	31
2.2.9. Área de aplicación	31

3. Metodología

3.1. Funcionamiento	36
3.2. Simulación numérica	39
3.3. Elaboración de muestras	40
3.3.1. Dimensión de las muestras	40
3.3.2. Elaboración de moldes	40
3.3.3. Selección del material	41
3.3.4. Muestra de adobe	41
3.3.5. Muestra de revoque	42
3.3.6. Muestra de empañete	42
3.3.7. Secado de muestras	42
3.3.8. Acondicionamiento de muestras	42

4. Resultados

4.1. Placa caliente	47
4.2. Simulación numérica	47
4.3. Aplicación de resultados	47

5. Discusión

5.1. Discusión	53
5.2. Simulación numérica	53
5.3. Normativa	54
5.4. Materiales	55

6. Conclusiones / Recomendaciones

6.1. Conclusiones	60
6.2. Recomendaciones	62

7. Bibliografía

7.1. Texto	67
7.2. Credits	69

8. Anexos

8.1. Abstract	73
8.2. Informe de laboratorio conductividad térmica	74
8.3. Informe de laboratorio simulación numérica	75



01

Introducción

Antecedentes	02
Problemática	06
Pregunta de investigación	08
Hipótesis	10
Objetivos	12
Metodología	14

Antecedentes

La construcción con tierra se ha desarrollado a partir de la necesidad del ser humano de buscar protección y cobijo. La arquitectura tradicional es el resultado de las condiciones climáticas y de los materiales disponibles en la zona, estas edificaciones poseen una identidad cultural que contempla tradiciones y costumbres las cuales se deben rescatar y preservar (Gedeón, 2013).

En el año 2012 el World Heritage Earthen Architecture Programme (WHEAP). Programa Mundial de Patrimonio de la Arquitectura de Tierra, creó una lista de ciudades que poseen inmuebles construidos con tierra. Dentro de esta lista se encuentran ciudades como Quito y Cuenca; además, reveló que el adobe es la técnica constructiva en tierra predominante a nivel mundial, en un 50% de las 150 ciudades inscritas como patrimonio mundial (Fig.01) y del 60% en América Latina y el Caribe (Fig. 02)(World Heritage Earthen Architecture Programme, 2012).

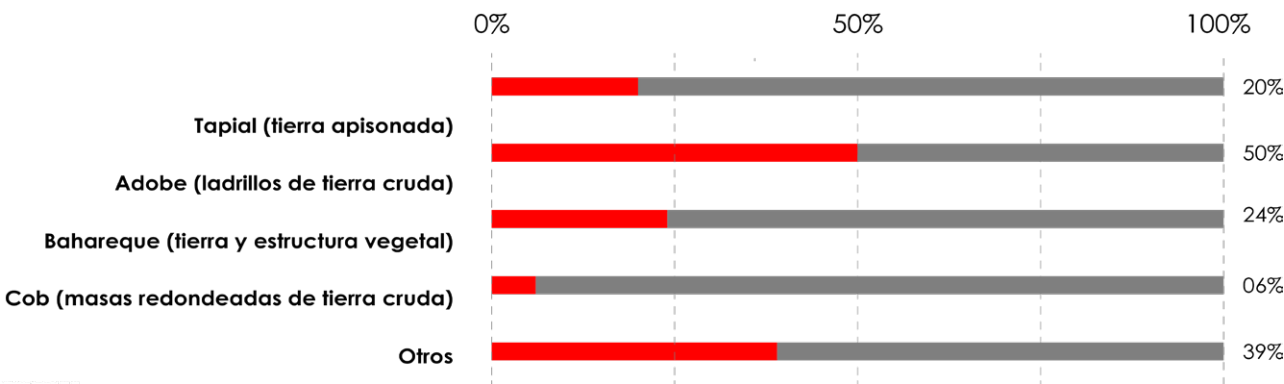


Figura 01. Tipo de construcción con tierra en el mundo
Fuente: Elaboración propia, obtenido de WHEAP

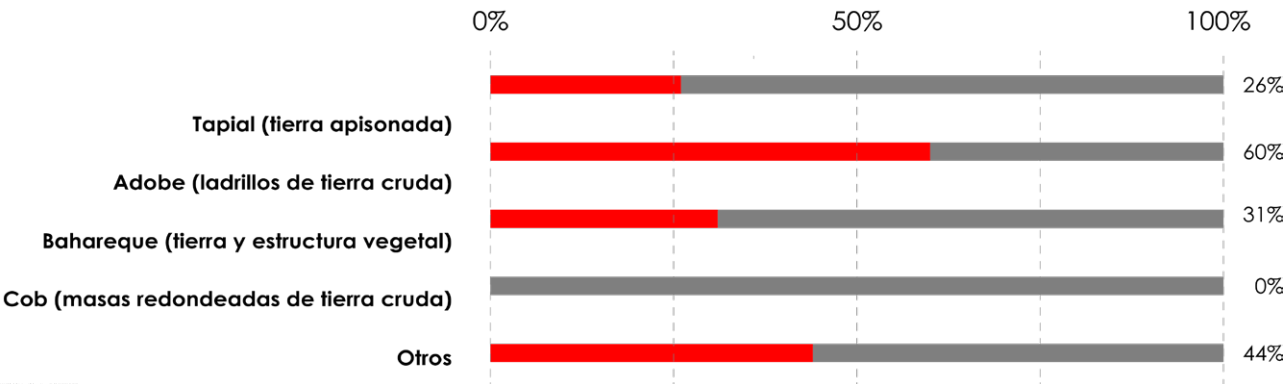


Figura 02. Tipo de construcción con tierra en America Latina y el caribe
Fuente: Elaboración propia, obtenido de WHEAP

En las últimas décadas los conceptos y criterios sobre el patrimonio cultural tienen mayor acogida y aceptación, no se protege las edificaciones monumentales solamente, sino que también la arquitectura vernácula y tradicional donde se vincula lo inmaterial con lo material y se visibiliza que lo predominante son las estructuras preexistentes (Orellana, 2017).

En el país, existen alrededor de 212 mil viviendas construidas con sistemas constructivos en tierra, principalmente en adobe o tapial, lo que equivale al 5.68% del total de edificaciones del país. En la provincia del Azuay, este porcentaje aumenta a 20.80%, lo que equivale a 38.250 viviendas; es decir, la quinta parte de edificaciones de esta provincia se encuentran levantados con estos sistemas constructivos tradicionales. Específicamente en el cantón Cuenca, existen una gran cantidad de edificaciones en adobe, las mismas que alcanzan el 15.21%, es decir, un total de 19.806 construcciones (Fig. 03) (INEC, 2016). Por lo tanto, el adobe constituye el segundo sistema constructivo más utilizado en el cantón, superado únicamente, por la construcción de mampostería, ladrillo o bloque (Orellana, 2017).

Con el inicio de la revolución industrial, se produjeron cambios en la humanidad, lo que permitió el desarrollo de la arquitectura con la creación de nuevos materiales, es por esto que los países más desarrollados giraron hacia sistemas constructivos renovados, con lo que se vieron obligados a dejar de lado las técnicas constructivas tradicionales (Rivas, 2017).

La construcción en tierra constituye uno de los sistemas más antiguos usados para vivienda en gran parte del mundo, principalmente en lugares con climas cálido-secos o templados como es el caso de Ecuador. En la ciudad de Cuenca, tanto en la zona urbana como en la rural, posee una gran cantidad de edificaciones construidas con adobe, la gran mayoría de estas construcciones están concentradas en el centro histórico de la ciudad y fueron declaradas como patrimonio cultural de la humanidad por la UNESCO en el año 1999 (Orellana, 2017). La pérdida de las culturas constructivas tradicionales y las malas prácticas arquitectónicas ponen en riesgo la conservación de su patrimonio edificado, ya que afectan de manera directa a su autenticidad e integridad.

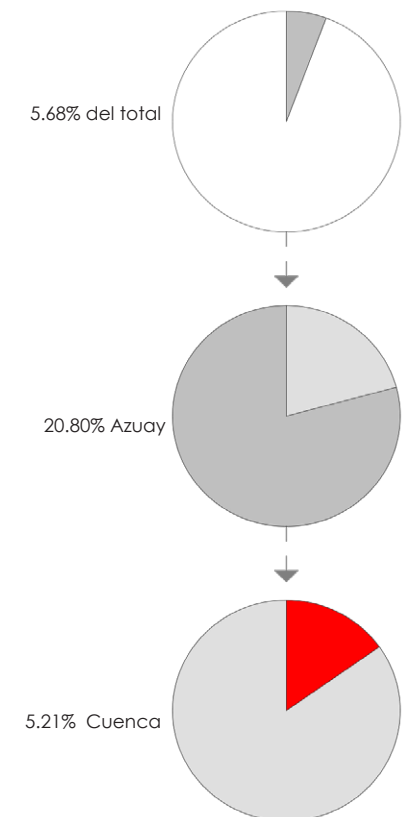


Figura 03. Porcentaje de viviendas en tierra el Ecuador
Fuente: Elaboración propia, obtenido Orellana, 2017

"Hoy en día es cada vez más común observar como las edificaciones patrimoniales son demolidas, modificadas o intervenidas irrespetando las técnicas con las cuales fueron levantadas. Por otra parte, en los últimos años el interés por la construcción con tierra se ha incrementado a nivel mundial y ha retornado con fuerza en ámbitos como la sustentabilidad, la construcción ecológica y amigable con el medio ambiente, la mayoría de las investigaciones realizadas sobre este tema se han limitado al estudio de la tierra como material de construcción, sus aplicaciones, técnicas constructivas, su comportamiento físico-estructural y las posibilidades de su optimización." (Orellana, 2017)

Los sistemas constructivos con tierra han ido perdiendo importancia de manera significativa, de tal forma que ha dejado de ser considerada dentro de la formación académica de un arquitecto y ha sido etiquetado a este sistema como sinónimo de pobreza y retraso (Gatti, 2012). Sin embargo, la construcción en tierra presenta varias cualidades que

se han desvalorizado por la falta de conocimiento. El presente proyecto de investigación tomará como factor central de cálculo: la transmitancia térmica de la parte opaca de la envolvente o fachada (Fig. 04)



Figura 04. Envolvente vertical de adobe
Fuente: Wikipedia

PROBLEMÁTICA

Los sistemas constructivos en tierra posee muchas ventajas: capacidades de aislamiento térmico, aislamiento acústico, la materia prima es de fácil obtención, no se necesita mano de obra especializada, no produce contaminación en su elaboración. En este contexto, el presente proyecto de titulación busca innovar la construcción arquitectónica con la aplicación de técnicas tradicionales para envolventes verticales que eviten el uso de materiales industrializados contaminantes. Para el efecto, se utiliza los materiales disponibles en el medio como la tierra: conformada por arenas limos y arcillas.

Además, para el diseño del proyecto se debe considerar la envolvente y los factores que influyen en la misma que garantizan en el interior de las construcciones que los usuarios cuenten con un bienestar térmico. No se puede olvidar que para evitar la pérdida de calor en una edificación hay que considerar, el factor U que es una característica fundamental de cada sistema constructivo (Pastor Villa, 2018).

Los parámetros que definen el envolvente térmico deben estar por debajo de los valores máximos estableci-

dos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Es pertinente esta investigación que profundiza en las propiedades térmicas del adobe como envolvente no estructural de una edificación ya que hoy en día, la gran demanda que existe en el campo de construcción hace que los profesionales opten por materiales alternativos a los comúnmente usados con el fin de reducir el consumo excesivo de los recursos no renovables del planeta (Garzón, 2017).

En la actualidad, la investigación sobre el uso de la tierra como material constructivo está tomando mucha fuerza en varios países. Esto se debe a la explotación irracional de los recursos naturales no renovables para elaborar los materiales de construcción industrializados y a la concientización ambiental debido a la generación de residuos de construcción y demolición. Cabe recalcar que los escombros causados por los métodos de construcción moderna no pueden ser usados para construcciones futuras (Bedoya, 2007).

El trabajo que se desarrolla secuenciará las siguientes secciones: introducción, marco teórico y estado del arte, metodología y resultados, discusión, conclusiones.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué espesor de adobe como envolvente no estructural es necesario para cumplir la normativa de transmitancia térmica para la ciudad de Cuenca?

HIPÓTESIS

Los sistemas constructivos tradicionales en tierra como envolvente no estructural, presentan mejores propiedades térmicas, económicas y constructivas frente a materiales industrializados.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar las propiedades de transmitancia térmica de cada elemento que conforma el sistema constructivo.

Objetivos específicos:

1. Conocer las diferentes metodologías realizadas en estudios similares anteriores.
2. Analizar y comparar los resultados de transmitancia térmica obtenidos usando diferentes metodologías de simulación numérica.
3. Conocer las bondades del material con respecto a otros sistemas constructivos.
4. Aplicación de resultados de factor U según norma vigente en el Ecuador.

METODOLOGÍA

El tema sobre el cual se desarrolla la siguiente investigación es la transmitancia térmica de sistemas constructivos en tierra aplicado para envolventes no estructurales. En el proyecto se habla específicamente en el adobe y sus propiedades térmicas aplicadas en la fachada de viviendas para mejorar las condiciones térmicas al interior cumpliendo con los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Para el desarrollo del trabajo se utilizó una metodología experimental a través de la cual se determinó la conductividad térmica de cada material que conforma el sistema constructivo, en este caso el adobe, revoque y empañete. Con estos datos de conductividad y conociendo el espesor de cada elemento constructivo aplicado en un muro es posible determinar el factor U de una pared. En este punto de la investigación se usaron tres distintas herramientas que permiten determinar la transmitancia térmica, el primero consiste en la fórmula convencional, que requiere de datos como la resistencia térmica de cada material y los dos siguientes son programas de simulación numérica realizados en computadora. Con esta herramienta se determinó el espesor de

adobe mínimo requerido para cumplir con la normativa de transmitancia térmica para la zona climática de la ciudad de Cuenca, teniendo en cuenta el espesor de revoque y empañete que propone el Instituto Nacional de Patrimonio y Cultura (INPC).

Con la finalidad de conocer las propiedades del adobe frente a materiales industrializados se realizó una comparación en aspectos como peso, costo por unidad, costo por m² y finalmente el tiempo de ejecución. Con la información del espesor mínimo del adobe se determinó el costo y la proporción que debería tener un adobe para la zona climática de Cuenca. A partir de esta información junto con un presupuesto de la cámara de la construcción de Cuenca se determinó el costo por m² de una mampostería de adobe con revoque y empañete en comparación con una mampostería de bloque de hormigón con enlucido, empastado y pintura.

Finalmente el valor por m² de envolvente de adobe con revoque y empañete se aplicó a una vivienda de interés social que propone el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).



02

Marco teórico Estado del arte

Estado del arte	18
Marco teórico	26

ESTADO DEL ARTE

En la actualidad se han realizado varias investigaciones acerca de la transmitancia térmica de sistemas constructivos en tierra en diversos países. Estos estudios se han aplicado con diferentes metodologías y servirán como referencia para este proyecto de investigación. Así:

Evans, Garzón y de Schiller (2012), en una de sus investigaciones realizadas en Argentina, usaron una metodología que consiste en la recopilación de datos de radiación, temperatura y humedad a través de unos pequeños sensores tipo "Hobo" (Fig. 01) que miden y almacenan los datos de temperatura en intervalos pre-programados.

En un segundo estudio, realizado por Evans & Patrone (2012), se combinaron los datos obtenidos a través de los sensores tipo Hobo, con un programa de simulaciones numéricas llamado Quick. Este programa se usa debido a que, la recopilación de datos se dio en días, meses, años y lugares diferentes. Para cada uno de las viviendas analizadas se obtuvieron datos durante 5 días, con estos datos se obtuvo un promedio para poder ser comparado con los otros casos de estudio.

Existe otra metodología denominada "placa caliente" aplicada por Cuitiño, Esteves, Maldonado, & Rotondaro (2015) (Fig. 01) y Abanto, Karkri, Lefebvre, Horn, Solís & Gómez (2017). Esta consiste en la elaboración de dos probetas que contengan el material que se desea analizar según el formato que la máquina admita. El proceso consiste en emitir calor a través de una placa de cobre, esta debe estar en medio de las dos probetas y a su vez, deben estar cubiertas por unas placas frías de aluminio, las mismas que serán las encargadas de enviar los datos de calor que se recibe, a través de la placa de cobre, a un ordenador, el cual mediante la ley de Fourier y la ecuación de balance de energía, obtendrá el valor de la transmitancia térmica.

Por otra parte, Dao, Ouedraogo, Millogo, Aubert, & Gomina (2018) emplean una metodología que consiste en medir el calor mediante una sonda conectada a un analizador de propiedades, en este caso, un aparato llamado KD2 Thermal Pro. Para la recolección de datos, se realiza un agujero en la mitad de la muestra, de manera que, no esté en contacto con el aire y se introduce la sonda.



Figura 01. Sensor HOBO
Fuente: Evans, 2012



Figura 02. Aparato de placa caliente
Fuente: Cuitiño, 2015

Este método utilizado para medir la conductividad térmica es independiente del contenido de humedad. En este caso se realizaron las pruebas en bloques de adobe con agregado de cemento (Fig. 03) en distintas proporciones para compararlas entre sí.

En casos específicos, realizados en Ecuador, existe un estudio realizado por Rivas (2017) en la ciudad de Azogues, provincia del Cañar. Este estudio se basó en el análisis de tres viviendas ubicadas en la zona de Cojitambo elaboradas con bahareque de las cuales se realizó un levantamiento arquitectónico y con la ayuda de un software se cambia la materialidad de las edificaciones levantadas para la simulación, en este caso se usaron bloques de hormigón con el fin de comparar las propiedades térmicas de cada material. Con el uso del programa Ecotec, se obtuvieron los datos del comportamiento térmico de la vivienda considerando los distintos materiales.

Para constatar la exactitud del programa, se realizó una recopilación de datos mediante el uso de un aparato Kestrel 4200, estos datos fueron tomados durante 24 horas en intervalos de una hora.

En la ciudad de Cuenca, Vacacela (2015) en su estudio, recopiló datos mediante el uso de un pirómetro, el cual mide la temperatura, un anemómetro, que mide el viento, humedad y precipitaciones, y un sonómetro, que calcula el ruido (Fig. 04, 05 y 06), durante un periodo de una semana en tres diferentes módulos ubicados muy cerca entre sí. Estos módulos estaban elaborados de diferentes materiales: uno de ladrillo, el segundo de bloque de pómez enlucido, pintado; y el tercero, de módulos prefabricados de bahareque. Los resultados son comparados entre sí, mediante gráficos para determinar el comportamiento térmico, acústico y la humedad relativa de cada módulo.

De las metodologías antes mencionadas en los proyectos de investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

En el primer caso, Evans, de Schiller & Garzón (2012), los datos obtenidos en la casa de bahareque, logran un aumento de la temperatura interior de 3 a 4 grados centígrados, con limitadas ganancias in-



Figura 03. Muestras de adobe con agregado de cemento
Fuente: Dao et.al, 2018



Figura 04-06. Herramientas de medición de temperatura, humedad y sonido
Fuente: Vacacela, 2017

ternas y reducidas ganancias solares. Sin embargo, las temperaturas interiores de la vivienda de bahareque son menores a los niveles recomendados de confort, considerando un valor mínimo de 18° para actividades sedentarias y alrededor de 20° para condiciones de variación limitada de temperatura. El control de la variación diaria de temperatura es muy bueno, con valores de 1 a 2 grados, demostrando que la construcción liviana de bahareque es apta para lograr dicho control.

Por otra parte Evans & Patrone (2012), al tener 5 edificaciones analizadas tienen una gran cantidad de datos numéricos (Fig. 07). Cabe recalcar que las edificaciones están ubicadas en diferentes regiones de Buenos Aires y en épocas distintas del año, por lo que existe una diferencia considerable en los valores de temperatura. Se puede observar que la edificación con mejor desempeño térmico es la vivienda industrializada, con una amplitud térmica interior de 0,5°C y una máxima de 14,6°C, quedando a 1°C, por debajo de la máxima exterior. De acuerdo con los datos, se puede concluir que es la única vivienda que cumple con el ni-

vel C de la norma IRAM11.605 para Buenos Aires. Por otro lado, las mediciones en la casa habitada muestran un aumento de la temperatura interior con las ganancias internas.

A continuación, la edificación de Florencio Varela con una máxima de 13,8°C y una amplitud de 1,7°C y 1,8°C bajo la máxima exterior.

El comportamiento de la vivienda autoconstruida es similar al caso anterior, con una amplitud térmica de 1,9°C, una temperatura máxima de 13,9°C y a 1,7°C por debajo de la máxima exterior, en este caso influye el calentamiento de la casa mediante el uso de calefacción. Por último y con una gran diferencia se encuentra el módulo de la ribera, con una temperatura máxima de 18,7°C, una amplitud de 11,11°C y 3,1°C por encima de la máxima exterior.

Para el caso del método de la placa caliente de Cutiño, Esteves, Maldonado & Rotondaro (2015) se realizaron dos pruebas. La primera se realizó en un panel de bahareque sin aislamiento, mientras que

	Amplitud térmica exterior	Amplitud térmica interior	Temperatura máxima exterior	Temperatura máxima interior	Temperatura mínima exterior	Temperatura mínima interior
Casa Florencio Varela	8,0° C	1,1° C	16,7° C	14,8° C	8,9° C	13,7° C
Vivienda industrializada	11,89° C	1,51° C	14,54° C	12,8° C	2,66° C	11,3° C
Vivienda autoconstruida	8,16° C	2,47° C	14,75° C	13,5° C	6,69° C	11,03° C
Vivienda de la ribera	5,89° C	8,78° C	16,39° C	19,98° C	10,5° C	11,2° C
Vivienda de Tampico	6,20° C	4,60° C	34,9° C	35,99° C	27,4	30,0° C

Figura 07. Resultados de la aplicación de sensores HOBO
Fuente: Propia, obtenido de Evans, 2012

la segunda se la hizo con una plancha de poliestireno expandido de 5mm de espesor en la mitad del panel (Fig. 08). Para aplicar la fórmula de Fourier y la ecuación de balance de energía es necesario conocer la siguiente información (Fig. 09).

Balance de energía

$$Q=q_1+q_2$$

Aplicando la ley de Fourier

$$Q=[(k_1 \times A \times \Delta T_1)/e_1 + (k_2 \times A \times \Delta T_2)/e_2] \times 1/e_m$$

Donde:

Q: Potencia térmica $V \times I \times N$ (W/m² °C)

V: Tensión suministrada (V)

I: Corriente suministrada (A)

N: Factor de calibración del equipo de placa caliente

K₁₋₂: Es la transmitancia térmica del panel superior e inferior, respectivamente (W/m²K)

A: Área de la placa caliente (m²)

ΔT: Delta de temperatura para el panel superior y para el panel inferior, respectivamente (°C)

E: Espesor del panel superior e inferior, respectivamente (m)

De la ecuación se despeja la transmitancia térmica y asumiendo que es la misma para ambos paneles, se obtiene:

$$k=Q/(A \times e_m) \times [(e_1 \times e_2)/(\Delta T_1 \times e_2 + \Delta T_2 \times e_1)]$$

Reemplazando los valores en la fórmula, se obtuvieron los siguientes resultados; Para cada una de las probetas analizadas se obtiene un valor independiente por lo que es necesario realizar un promedio de transmitancia térmica para las dos muestras de 2,64 W/m²K en el caso de bahareque tradicional y un valor promedio de 2,02 W/m²K para el caso de los dos paneles de bahareque con poliestireno expandido de 5 mm de espesor en su interior.

En la segunda aplicación de la metodología de placa caliente de Abanto, Karkri, Mustapha, Le-febvre, Horn, Solis & Gómez (2017) se realizaron las pruebas sobre probetas de adobe que fueron realizadas con barro de tres distintas zonas de Perú, de igual manera se deben realizar dos muestras para medir y obtener un promedio (Fig. 10).



Figura 08. Muestras de quincha con y sin aislamiento
Fuente: Cuitiño, 2015

	Panel 1 - 2	Panel 3 - 4
Temperatura de placa caliente	37,0 °C ± 0,1°C	37,2 °C ± 0,1°C
Temperatura de placa fría	13,2 °C ± 0,1°C	13,2 °C ± 0,1°C
Espesor promedio de medición	0,094 m ± 0,0001 m	0,094 m ± 0,0001 m
Tensión suministrada	11,74 V ± 1%	
Corriente suministrada	1,05 A ± 1%	

Figura 09. Datos necesarios para aplicación de ley de Fourier
Fuente: Cuitiño, 2015

En la metodología que aplica Dao, Ouedraogo, Millogo, Aubert, & Gomina (2018) a comparación con la metodología de Cutiño, Esteves, Maldonado & Rotondaro (2015) es mucho más experimental y menos compleja por el simple hecho de que los valores obtenidos son directos, es decir, no existe la necesidad de la aplicación de largas fórmulas.

En este caso la comparación de los distintos adobes con agregados de cemento en distintos porcentajes, se expresa en la siguiente imagen (Fig. 11). El gráfico facilita la comprensión y lectura de los datos obtenidos y procesados.

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación de Rivas (2017) al igual que Dao, Ouedraogo, Millogo, Aubert, & Gomina (2018) se expresan mediante tablas que muestran los datos de dos zonas de cada vivienda. Una corresponde con el área social y la segunda a la zona de habitación.

Las simulaciones en el programa Ecotect se realizaron en los equinoccios y solsticios dando como resultado que las viviendas de bahareque pre-

sentan un mejor comportamiento térmico frente a las realizadas con bloques de hormigón. En cuanto a la comprobación de exactitud entre el programa de computación y el uso del aparato Kestrel 4200 se determinó que los resultados del programa son fiables (Fig. 12).

Por otra parte, se muestran los resultados obtenidos por Vacacela (2015), los cuales toman los datos de temperatura interior y exterior de cada módulo de vivienda durante 7 días consecutivos y determina tres horas del día; 6am, 1pm y 8 pm, en las cuales existen cambios significativos de temperatura.

Al igual que en las dos metodologías antes mencionadas, los resultados son expresados en gráficos (Fig. 13, 14 y 15). Los resultados de humedad y de sonido fueron realizados a la par con la recopilación de datos de temperatura.

Finalmente, Evans, Garzón y de Schiller (2012) concluyen su estudio con algunas recomendaciones para una mejor conservación de calor y control del ingreso de radiación solar a través de la cubierta.

Muestra de adobe		Conductividad (W/m·K)	Incertidumbre (%)
Tierra	Mezcla		
A	1	0,316	2,3
B	1	0,334	3,2
	2	0,283	0,2
C	1	0,324	3,1
	2	0,255	4,2
	3	0,312	0,2

Figura 10. Resultados de conductividad térmica
Fuente: Abanto, 2017

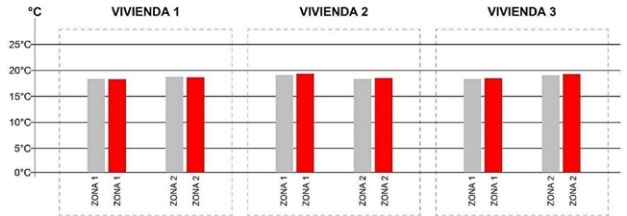
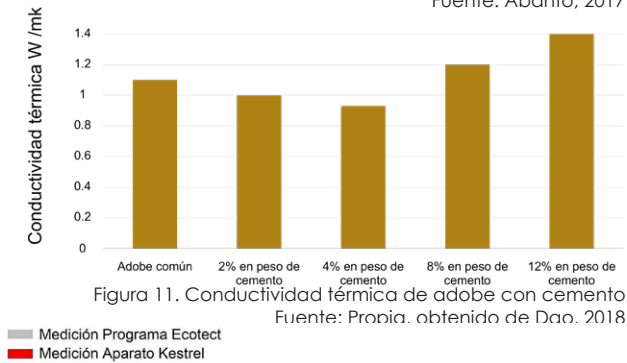


Figura 12. Comparación de resultados de distintas herramientas
Fuente: Rivas, 2017

- Colores claros en las terminaciones del techo.
- Mayor espesor en la capa aislante del techo, 10 cm en lugar de 5 cm.
- Incorporación de una cámara de aire o material aislante en los muros.
- Orientar las ventanas al Este y Oeste para captar mayor radiación hacia el interior.

Las simulaciones térmicas indican que estas medidas, complementadas con el control de las infiltraciones de aire, pueden reducir las pérdidas de calor en un 50%, aumenta, así, la temperatura interior en un promedio en 6 grados centígrados para alcanzar la temperatura media de 17°, muy cercana ésta al límite mínimo de confort establecido por la IRAM 11.605.

En el segundo estudio, Evans & Patrone (2012) recomiendan que las viviendas a comparar se encuentren en una misma zona geográfica, ya que de lo contrario el estudio no tendría validez y debería ser analizada independientemente como en el caso de la vivienda ubicada en Tampico, con un clima subtropical con una gran diferencia en los rangos de temperatura.

En la siguiente metodología revisada, Cutiño, Esteves, Maldonado & Rotondaro (2015) determinaron que al agregar los coeficientes de película se obtiene la transmitancia global, siendo para el panel sin aislamiento de 1,82 W/m² K y para el panel con aislamiento es 1,51 W/m² K, concluyendo que el panel con poliestireno expandido de 5 mm posee una mejor aislación térmica y cumple con el requisito de transmitancia global que debe ser menor o igual que 1,75 W/m² K para la zona de Mendoza, para la época de invierno.

Con estos resultados se concluyó que el sistema constructivo de bahareque puede ser empleado en envoltentes de edificaciones y obtener un ambiente interior confortable, también sugiere que se debe seguir investigando para mejorar la colocación del aislamiento térmico en el panel.

El estudio de Abanto, Karkri, Mustapha, Lefebvre, Horn, Solis & Gómez (2017) muestra que zona de Perú tiene barro con mejores propiedades térmicas, en este caso la conductividad varío de 0.25 a 0.33 W/m K. Se recomienda que futuras investigaciones evalúen la sensibilidad de estas características térmicas a los conteni-

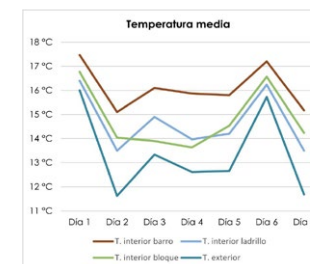


Figura 13. Resultados de temperatura interior
Fuente: Vacacela, 2017

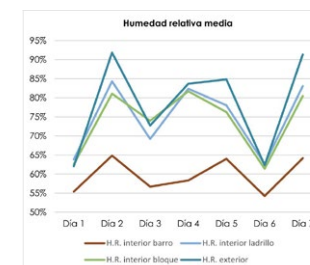


Figura 14. Resultados de humedad interior
Fuente: Vacacela, 2017

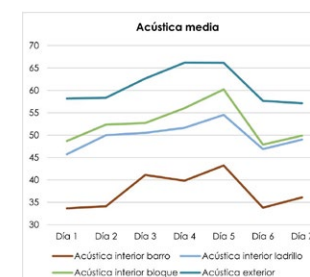


Figura 15. Resultados de sonido interior
Fuente: Vacacela, 2017

dos de agua y paja, utilizando la misma metodología, así como determinar las correlaciones de la conductividad térmica con las propiedades mecánicas.

Dao, Ouedraogo, Millogo, Aubert, & Gomina (2018) demostraron que los adobes realizados con un pequeño porcentaje de cemento eran resistentes a la erosión por líquidos y se caracterizaban por una buena conductividad térmica. La mezcla con cemento contribuyó a la mejora de las propiedades físicas y mecánicas. Los adobes estabilizados con 2% de cemento en peso mejora su resistencia a la compresión y al agua y la conductividad térmica es menor que el adobe sin tratar, es decir sus características de aislación térmica son mejores, sin embargo, al agregar un porcentaje mayor de cemento la conductividad térmica aumenta.

Según los datos encontrados por Rivas (2017), en las horas de la madrugada es en donde se encuentran las temperaturas exteriores menores, por el contrario, las horas del día donde las temperaturas exteriores se elevan, pero en el interior estas en cierta forma son más constantes en las construcciones de

bahareque, lo que permite demostrar la adaptabilidad de la tierra frente a cambios térmicos externos.

Con estos datos se llega a la conclusión de que las viviendas de bahareque están más cerca de conseguir un estado más favorable en cuanto al confort térmico en las condiciones climáticas de Azogues. Pudiendo afirmar que las viviendas vernáculas de bahareque son mejores en temas de confort térmico interior, que las viviendas actuales de bloques de concreto.

Finalmente Vacacela (2015) concluyó que el módulo realizado con bahareque presenta los resultados más favorables en todos los aspectos medidos frente a los otros materiales de construcción. La temperatura interior es más constante en el módulo propuesto y es la más cercana al rango de confort para el interior de una vivienda. Por otra parte los datos de la humedad también presentan los mejores resultados debido a que existe un porcentaje menor de humedad. Por último en las pruebas acústicas se determinó que el bahareque presenta las mejores propiedades acústicas con menor número de decibeles captados al interior.

Marco Teórico

La tierra como material de construcción

La tierra es, sin duda, el material de construcción más antiguo empleado por el hombre. Este material, debido a la necesidad de mejores condiciones de vida del hombre, se fue desarrollando para formar estructuras más duraderas y resistentes (Bedoya, 2007). La tierra cruda es un material de construcción que tiene muchas ventajas que han sido subestimadas por falta de conocimiento, por su uso tradicional y la utilización actual en países subdesarrollados (González Sánchez, 2013).

Existen algunos sistemas constructivos que utilizan la tierra como elemento principal como el adobe, bahareque, tapial, cob, bloque de tierra comprimida (BTC), y superadobe. La tierra empleada en cada uno de los sistemas constructivos mencionados debe estar libre de materia orgánica ya que esta es alterable con el paso del tiempo. Se recomienda utilizar tierra que esté por debajo de los 50 cm de profundidad (Fig. 16) ya que esta

tierra no posee materia orgánica (Pesántez, 2018).

El Adobe

El sistema constructivo de adobe consta de una mampostería portante realizada con bloques compuestos de una mezcla de arcillas, limos y arena; combinados con fibras naturales y agua. Esta mezcla se deja reposar durante 15 días. Todos estos materiales son accesibles y económicos, a esto se debe la popularidad de su uso (Aguilar & Quezada, 2017). La mampostería portante es recubierta con revoque, que consiste en una mezcla de tierras (Fig. 17). Las tierras se diferencian en el tamaño de las partículas y la mezcla de todas estas con agua forma el barro, el cual se deja reposar durante 15 días al igual que la mezcla de barro para el adobe, al momento de colocar sobre el muro de adobe se le añade paja para mejorar la resistencia a la tracción y evitar fisuras por la rápida pérdida de humedad. Por último, se coloca el empañete que está compuesto por una mezcla de barro con cenizas y guano de caballo el mismo que, debe permanecer en reposo al igual que el revoque previo a su colocación. En algunos casos el empañete contiene una resina

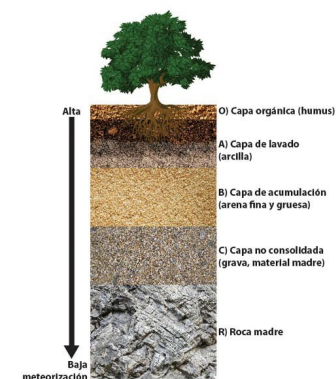


Figura 16. Capas del suelo
Fuente: Sites google



Figura 17. Elaboración de muro
Fuente: Orellana 2017

y/o cemento en una pequeña porción, que mejora la adherencia con el revoque (Pesantez, 2018). Para la colocación del empañete no es necesaria, la colocación de paja debido a que la capa que se coloca sobre el revoque mide aproximadamente 10mm y por sus componentes no existen fisuras en este acabado final del muro de adobe.

Elaboración de adobes

El proceso inicia una vez que se ha realizado el zarandeo, es decir el proceso por el cual se remueven áridos de gran tamaño mediante el uso de un tamiz. Luego, se bate la tierra con el agua (Fig. 18) obteniendo de esa manera el barro. A la mezcla de barro se le agrega las fibras vegetales antes mencionadas las cuales deben tener una longitud de 10 cm de largo. Posteriormente se bate para juntar todos los elementos y se deja reposar durante un periodo de 48 horas. (Norma E0.80, 2017). Para finalizar se mezcla por última vez, esto va a permitir que exista una mayor integración y distribución del agua sobre las partículas de arcilla activando así sus propiedades cohesivas (Pesantez, 2018). Las características mecánicas y físicas de los adobes dependen entre otros factores de la dosifi-



Figura18 . Mezcla de barro para adobe
Fuente: Elaboración propia

cación que posee la mezcla de barro (Barreto, 2014).

Luego del proceso de mezcla y reposo, se coloca el barro sobre los moldes, estos deben estar limpios y humedecidos para que de esa manera se pueda desmoldar con facilidad. Los moldes pueden ser de madera cepillada con las dimensiones requeridas. Estos moldes deben estar colocados sobre una superficie limpia y lisa para garantizar una forma regular en el adobe, la mezcla de barro se puede distribuir en los moldes con las manos o con los pies, para finalizar, se procede a retirar los moldes (Fig. 19).

Para concluir con el proceso de elaboración de los adobes, se procede a secar los mismos en un periodo de tiempo de entre 20 a 40 días. Para lograr un secado homogéneo es necesario girar los adobes durante los primeros días (INPC, 2011). El proceso de secado se debe hacer bajo una cubierta que los proteja de la radiación solar directa para así evitar un secado acelerado el cual produce grietas y/o deformaciones en el adobe.



Figura 19. Adobe desmoldado
Fuente: Propia

mana, los adobes pueden ser apilados manteniendo una traba que no exceda la altura de 1,20m de altura. Al apilarlos, de igual manera, se los debe colocar bajo una cubierta para que se continúe con el proceso de secado (Fig. 20). (Pesántez, 2018)

Normativa para la construcción con tierra

En el campo de la construcción con tierra varios países trabajan en la normalización del uso de este material; Colombia, España y Perú ya poseen una normativa que regula la construcción con tierra por lo que se encuentran desarrollando y mejorando las normas existentes, mientras que; Chile, Ecuador, México y Nicaragua están creando las normas que regulen la construcción en tierra, basándose en las normativa ya creadas por los países antes mencionados (Cid, Mazarrón, & Cañas, 2011).

Dentro de las normativas planteadas se habla sobre sistemas constructivos como el adobe, bahareque, tapial. De esta manera la construcción con tierra cada vez se vuelve más segura, haciéndolo un material ideal para la edificación de viviendas o equipamientos, tanto en zona urbana como rural.

La norma que determina las condiciones para la construcción en tierra es la Norma E0.80 creada en Perú, a esta norma se le suma la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) que reúne ciertos criterios y parámetros a seguir para el diseño y construcción de viviendas con sistemas constructivos tradicionales en tierra. Por otra parte, la norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en el capítulo 13 Eficiencia energética en edificaciones residenciales establece criterios y requisitos mínimos a ser considerados para el diseño y construcción en todo el país con el objetivo de optimizar el consumo energético asegurando el confort térmico de los usuarios de las viviendas según el lugar en el que se encuentre (NEC, 2018).

La Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC)

Esta normativa define las zonas climáticas según grados días de calentamiento, grados días de enfriamiento y la altura sobre el nivel del mar. Se toma en cuenta estos datos existen 6 zonas climáticas (Fig. 21). El clima de las principales ciudades del país se puede ver en la imagen 6, las zonas más bajas como la costa y el oriente tienen mayor tempera-



Figura 20. Secado de adobe
Fuente: Propia

tura y a medida que aumenta la altura por la cordillera de los Andes la temperatura disminuye.

Confort térmico

El confort térmico se puede definir como la sensación de bienestar que experimenta una persona al permanecer en un espacio determinado. El confort es aplicado en la arquitectura bioclimática, aprovechando las condiciones climáticas y materiales adecuados para diseñar edificaciones capaces de brindar confort a los usuarios (Rivas, 2017).

El confort térmico también se refiere a la percepción de comodidad en las condiciones térmicas del ambiente en el que se encuentra, la relación entre una persona y el ambiente involucra un cambio de energía debido a las características del cuerpo humano de mantener las condiciones internas estables frente a los constantes cambios de energía del ambiente (Toledo, 2011).

Confort térmico en el Ecuador

En el caso de Ecuador según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), el rango de confort se encuentra entre los 18 °C y 26 °C. La aplicación

de esta norma es necesaria para evitar el consumo excesivo de energía ya sea para calentar o enfriar una edificación. Es por eso que utilizando materiales adecuados, con un buen comportamiento térmico se puede reducir o eliminar el gasto de energía para mantener una temperatura de confort al interior de una edificación (NEC, 2011).

Transmitancia térmica (Factor U)

La transmitancia térmica es la transmisión de calor por unidad de tiempo y superficie a través de un material o a través de un elemento constructivo cuando existe una diferencia de un grado centígrado de temperatura entre los dos ambientes que este separa, sus unidades son W/m²K (NEC, 2018). Para determinar la transmitancia térmica es necesario conocer la conductividad térmica de cada elemento que conforma el elemento constructivo. La conductividad térmica es una propiedad física de un material que mide la capacidad de conducir el calor, sus unidades de la conductividad térmica son W/mK (C therm technologies, s.f.). Por último tenemos la resistencia térmica que es la capacidad de un material de oponerse al flujo de calor,

ZONA CLIMÁTICA (Ecuador)	ZONA CLIMÁTICA (ASHRAE 90.1)	NOMBRE	CRITERIO TÉRMICO
1	1A	HÚMEDA MUY CALUROSA	5000 < CDD10°C
2	2A	HÚMEDA CALUROSA	3500 < CDD10°C ≤ 5000
3	3C	CONTINENTAL LLUVIOSA	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000
4	4C	CONTINENTAL TEMPLADO	2000 < HDD18°C ≤ 3000
5	5C	FRÍA	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 3000 m < Altura (m) ≤ 5000 m
6	6B	MUY FRÍA	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 5000 m < Altura (m)

Figura 21. Clasificación NEC 2018
Fuente: NEC, 2018

sus unidades de $0,25 \text{ m}^2/\text{W}$ (C therm technologies, s.f.).

Envolvente térmica

La envolvente térmica es la piel que cubre a la edificación, está conformado por todos los materiales que separan los espacios habitables de los efectos del clima y de los espacios no habitables (Fig. 22).

El uso adecuado de materiales para la envolvente puede reducir considerablemente el uso de sistemas de calefacción o enfriamiento para tener una temperatura confortable al interior, reduciendo el consumo de energía eléctrica. La envolvente está compuesta de todos los cerramientos, ya sean horizontales o verticales, huecos y puentes térmicos del edificio. (Ministerio de Fomento, 2017)

Área de aplicación

Para este proyecto de investigación se eligió como caso de estudio la ciudad de Cuenca, con una altura de 2560 msnm y una temperatura media anual de $16,1^\circ\text{C}$ la cual se encuentra en la zona climática 3. Se eligió esta zona climática debido a que en la quinta parte de edificaciones de esta provincia se encuentran levan-

tados con estos sistemas constructivos tradicionales. En la ciudad de Cuenca es muy común observar edificaciones con sistemas constructivos tradicionales en tierra, ya sea en la zona urbana o rural. Claramente la mayor concentración de edificaciones en tierra se encuentran ubicadas en el centro histórico de la ciudad y poseen la mayoría de ellas poseen una gran calidad arquitectónica y patrimonial, es por eso que Cuenca es considerada patrimonio nacional por la UNESCO en 1999 (Orellana, 2017).

Para este proyecto de investigación, se toma como referencia las fachadas en contacto con el aire debido a que se va a determinar la transmitancia térmica del envolvente vertical opaco de la edificación que consta de adobe, revoque y empañete.

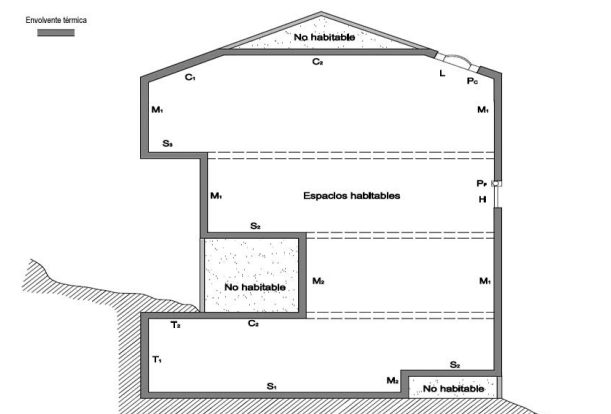


Figura 22. Espacio no habitable
Fuente: Ministerio de Fomento, 2017



03

Metodología

Metodología placa caliente	34
Metodología simulación numérica	39
Elaboración de muestras	40

METODOLOGÍA

En la presente investigación se utilizó la metodología de la placa caliente con guarda, revisada previamente en estudios de Cuitiño (2015), Abanto (2017) y (Piñas, 2018). La herramienta de prueba λ -Meter EP 500 e (Fig. 23) usada en este proyecto de investigación se encuentra disponible en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en el laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética LABET.

El aparato de placa caliente nos permite determinar la conductividad térmica que posee cada material, este valor se obtiene en condición de estado estacionario, midiendo el espesor, el flujo de calor y las temperaturas superficiales fijas en ambas caras de la muestra.

Esta máquina es una herramienta de prueba basada en una computadora integrada para mediciones de valor absoluto, la cual está equipada con un control inteligente del microprocesador que proporciona parámetros de pruebas ideales sin operaciones manuales para la regulación interna de los ciclos de calentamiento y enfriamiento para una producción rápida y eficiente de un campo de temperatura estacionario dentro de la zona de prueba.



Figura 23. Aparato de placa caliente
Fuente: Elaboración propia

Al igual que los estudios realizados por Cutiño (2015) y Piñas (2018), esta máquina cumple con las siguientes normas:

- ISO 8302 Aislamiento térmico: Determinación de la resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas. Aparato de placa caliente con protección. (Organización internacional de normalización, 1991)
- DIN EN 12667: Rendimiento térmico de los materiales y productos de construcción. Determinación de la resistencia térmica mediante métodos medidores de flujo de calor y placa caliente protegida. Productos de alta y media resistencia térmica. (European standards, 2001)
- ASTMC177: Método de prueba estándar para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa de protección en caliente (DIN 52612). (ASTM international, 2004)

La máquina mide el espesor de la muestra insertada, la diferencia de temperatura ΔT sobre la muestra y el flujo de calor Q , que equivale a la potencia

eléctrica del calentamiento de medición P ($P = U \cdot I$). La conductividad térmica se determina en función del área de medición definida A y la conducción térmica unidimensional. El aparato de placa caliente de una sola muestra admite muestras de material de 10 a 200 mm de espesor, es posible medir espesores menores a 10 mm con una opción especial. El formato ideal de la muestra es de 500 x 500 mm; sin embargo, son posibles tamaños más pequeños. Existe también la posibilidad de probar materiales sueltos con un dispositivo especial de inserción de muestras.

La máquina almacena datos de conductividad térmica y resistencia térmica en intervalos de 30 segundos de acuerdo con los estándares establecidos en las normas antes mencionadas lo que da un margen de error de 1%.

Funcionamiento

El aparato de placa caliente permite probar la conductividad térmica a la temperatura deseada. Debe existir una diferencia de 15 °C entre la placa caliente y la placa fría. La máquina permite realizar auto-

máticamente tres pruebas seguidas en una misma muestra con rangos de temperatura de 10°C a 50°C. Además, existe la posibilidad de calcular el coeficiente de temperatura de conductividad térmica basándose en los resultados individuales de cada medición.

Está diseñado para el uso a largo plazo y no requiere calibración incluso después de algunos años de funcionamiento. Por otra parte, el equipo no requiere un entorno de medición controlado con temperatura estable. Debe estar conectado a una fuente de alimentación normal y puede usarse en cualquier habitación u oficina ya que no produce ruido y disipa muy poco calor.

La máquina posee un algoritmo de control avanzado que calcula para cada medición los parámetros óptimos y reduce el tiempo de medición al mínimo. El componente superior contiene todos los módulos electrónicos, el cilindro del polipasto eléctrico para accionar el componente central, el instrumento de medición del espesor de la muestra y la presión de prueba, así como todas las unidades de visualización y control (Fig. 24). El uso de este aparato es

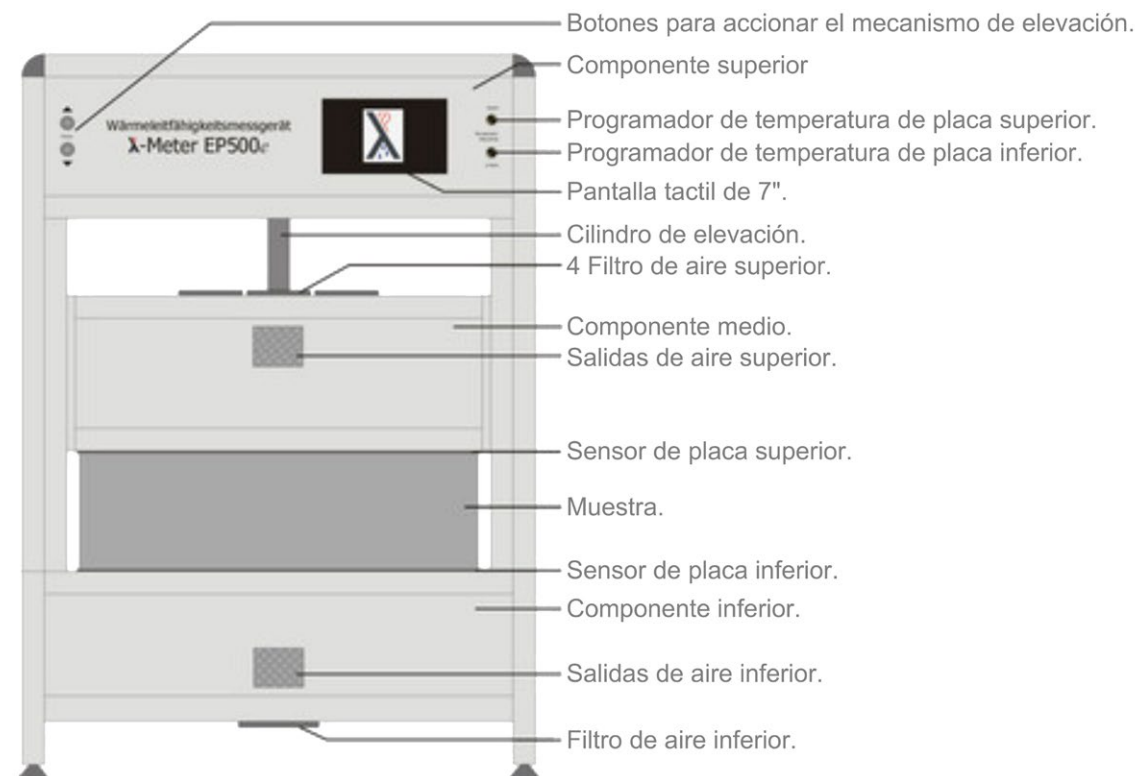


Figura 24. Componentes del aparato de placa caliente
Fuente: Elaboración propia, obtenido de lambda-messtechnik GmbH Dresden

muy simple, el mecanismo de elevación eléctrica se maneja por dos botones en la placa frontal, con estos botones se ajusta la altura de la placa del sensor superior para poder insertar la muestra.

A medida que la placa superior desciende, el mecanismo de elevación disminuye a un modo de arrastre, el cual proporciona una mayor precisión y evita posibles daños en las muestras. Para la medición del espesor de la muestra, la maquina cumple con las normas DIN 18164-1: Plásticos celulares rígidos, materiales de construcción aislantes. Parte 1: Materiales de aislamiento térmico y DIN 18165-1 Materiales de construcción aislantes de fibra—Materiales aislantes térmicos en los que se establece el requisito de una presión de superficie específica que va desde los 0.05 a 2.5 KN/m² ejercidos sobre la muestra.

Los componentes inferiores y medios contienen las placas del sensor. Las piezas centrales de estas placas son de aluminio optimizadas para computadora y tienen 40 mm de espesor, de esta manera se garantiza una temperatura isotérmica. Los módulos de refrigeración termoeléctricos Peltier enfriados

por aire determinan la temperatura de las placas del sensor a una temperatura entre 10°C y 50 °C.

Las mediciones de temperatura en ambas superficies de muestra no se realizan de manera irregular con termopares, sino se cubren totalmente la superficie de medición, garantizando precisión en la medición incluso en muestras no homogéneas.

Este aparato requiere una sola muestra, a diferencia del usado por Cutiño, Esteves, Maldonado & Rotondaro (2015), Abanto et al. (2017) y Piñas (2018) que requiere dos muestras a la vez, de los resultados independientes de las muestras se obtiene un promedio dando como resultado la conductividad térmica del material medido.

El aparato de muestra única debe tener una placa de calentamiento adicional, llamado calentador de contador, situado sobre la placa superior del sensor. Este contador de calor brinda una barrera térmica y garantiza la distribución uniforme de calor sobre la muestra. Por otra parte, el aparato también incluye una placa de flujo de calor altamente sensible, utiliza-

da para detectar posible convección de calor entre la placa de calentamiento y el contador de calefacción.

La máquina garantiza un sellado térmico preciso que no sería posible utilizando termopares. La desviación de calor transversal entre la zona de medición y el anillo de calentamiento de protección es muy avanzado y funciona de la siguiente manera: El anillo de calentamiento de protección se controla mediante la medición de más de 100 termopares formando una cadena y están distribuidos uniformemente sobre el espacio entre la zona de medición y el anillo calefactor de protección. Se puede detectar incluso flujos de calor transversales más pequeños y el anillo protector compensa los flujos de calor no deseados. A su vez el anillo protector se encuentra rodeado por otro anillo protector de calentamiento y nuevamente uno de enfriamiento. (Lambda-Messtechnik GmbH Dresden, s.f.) Los flujos de calor entre los dos anillos se miden mediante cadenas de termopares.

La herramienta de prueba calcula a partir de estos datos más el régimen de prueba programado,

barrera contra la temperatura de la habitación o lugar donde se esté realizando la medición a través de un campo de temperatura que es independiente de las condiciones laterales unidimensional y estacionaria.

Si la temperatura de prueba es más baja que la temperatura ambiente, los anillos de enfriamiento situados en los bordes laterales de las placas del sensor funcionan como trampas de humedad e impiden el ingreso de la misma en la zona de prueba, que de lo contrario daría lugar a inexactitudes en los resultados.

Metodología de simulación numérica

Se planteó como objetivo realizar simulaciones numéricas con diferentes metodologías con el fin de demostrar que metodología es de fácil aplicación con resultados correctos. Se realizó una simulación numérica en el laboratorio LABET, una simulación con el software design builder y por último se compararon los resultados con la fórmula de la transmitancia térmica. Para la aplicación de las tres metodologías se consideraron los mismos datos de conductividad térmica, espesores y sección total de muro (Fig. 25).

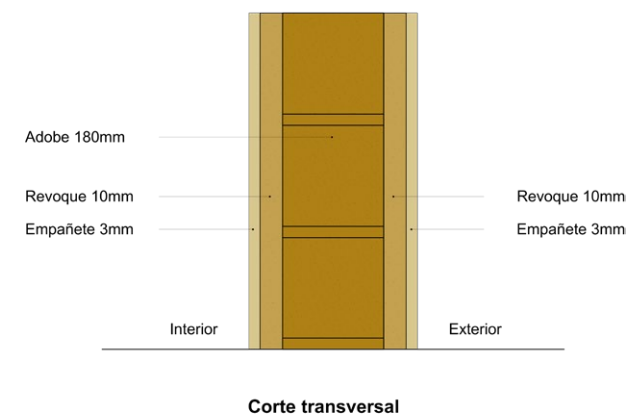


Figura 25. Sección de muro para la simulación numérica
Fuente: Propia, obtenido de INPC, 2011

El laboratorio LABET realiza simulaciones numéricas a partir de los datos de conductividad térmica obtenidos con la metodología de la placa caliente mencionada anteriormente.

Para el cálculo de la transmitancia térmica total de la envolvente se utilizará el software Therm 7.6 desarrollado por Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) el cual se basa en métodos finitos. Para la aplicación del software es necesario que exista una diferencia de temperatura de 10°C entre el interior y el exterior de la envolvente, en este caso la condición de prueba será de 16°C al interior y 26°C al exterior. El error normalizado de este software es menor al 1% por lo que sus resultados son confiables.

En segundo lugar tenemos la aplicación del programa Design builder. Es un software empleado para evaluar la eficiencia energética, medioambiental y económica de edificaciones durante el diseño hasta la construcción. Funciona a partir de una base de datos en la cual se encuentran los materiales con su respectiva conductividad térmica (Design Builer Lat , s.f.). En este caso se usarán los resultados

de conductividad del informe del laboratorio LABET. Finalmente la fórmula de la transmitancia térmica se basa en la resistencia térmica que a su vez se basa en el espesor y conductividad de cada material del sistema constructivo. Esta fórmula se emplea para determinar la capacidad aislante de un elemento constructivo formado por una o más capas de materiales.

Elaboración de muestras

Dimensión de las muestras

La medida para las muestras fueron definidas por el operador del aparato de placa caliente, quien por su experiencia en el uso del mismo, determinó que el tamaño ideal para las muestras era de 150x150x60mm debido a que es un material no aislante a comparación de la lana de vidrio y la superficie no es homogénea.

Elaboración de moldes

Para la elaboración de los moldes de 150x150x60 mm (Fig. 26) se utilizó madera reciclada lijada y clavos de 1" para realizar las uniones, también fue necesario un martillo, flexómetro, lápiz y un serrucho.



Figura 26. Elaboración de moldes
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizados los moldes con las medidas mencionadas, es necesario humedecer los moldes (Fig. 27) de tal manera que facilite el posterior desmoldado (Aguilar & Quezada, 2017). Desafortunadamente en la elaboración de los moldes no se consideró que a medida que la muestra se seca se contrae por lo que las muestras resultaron más pequeñas de lo requerido, con una diferencia de 8 mm a cada lado aproximadamente.

Selección del material

Para seleccionar la tierra como uno de los elementos constructivos del adobe, Aguilar & Quezada proponen varios puntos de comercialización en los que los productos se encuentran en stock y listos para su venta. El lugar elegido para este proyecto de investigación fue "El Artesano" del señor Manuel Narváez, ubicada en Racar, donde se comercializan adobes previamente elaborados en Sinicay, así como también el revoque y empañete.

El revoque consiste en una mezcla de tierras, las mismas se pueden obtener en Sinicay, cerca de la adobera. Las tierras se diferencian en el tamaño de las

partículas y la mezcla de todas estas con agua forma el barro, el cual se deja reposar durante 15 días aproximadamente y al momento de colocar se le añade paja para mejorar la resistencia a la tracción y evitar fisuras por la rápida pérdida de humedad.

El empañete está compuesto por una mezcla de barro con cenizas y guano de caballo el mismo que debe permanecer en reposo al igual que el revoque. En algunos casos el empañete contiene una resina y/o cemento en una pequeña porción, que mejora la adherencia con el revoque. (Pesantez 2018).

Para la colocación del empañete no es necesario la colocación de paja debido a que la capa que se coloca sobre el revoque mide aproximadamente 5mm y por sus componentes no existen fisuras en este acabado final del muro de adobe.

Muestra de adobe

Los bloques de adobe que se adquirieron tienen una dimensión de 400x200x200mm. Para obtener una muestra de adobe, se cortaron los bloques de tal manera que tengan el tamaño que la máquina admi-



Figura 27. Moldes humedecidos
Fuente: Elaboración propia

te y que sea fácil de manipular y transportar (Fig 28). Para cortar el bloque de adobe se utilizó una amoladora con disco de diamante de 9", un flexómetro y un lápiz. Se compraron los adobes debido a que en ese momento no estaba disponible la tierra para realizar adobes y como se mencionó anteriormente el proceso de mezcla y reposo del barro toma alrededor de 15 días sumado a esto alrededor de 20 a 40 días para el secado completo del adobe (Pesántez & González, 2011).

Muestra de revoque

Para elaborar las muestras de revoque, la mezcla de barro se coloca en capas: primero se coloca una capa de barro, seguida de paja, luego se continúa el proceso hasta alcanzar la dimensión requerida (Fig. 29 - 32). Es importante que la colocación de la paja se realice en dos sentidos; es decir, si la primera capa de paja fue en sentido vertical, la segunda será en sentido horizontal, de esta manera se garantiza mayor firmeza en el barro (Pesantez 2018).

Muestra de empañete

La elaboración de las muestras de empañete es igual a la de revoque, la paja se colocó de

la misma manera, en ambos sentidos (Fig. 33 - 36). Sin embargo, la mezcla del empañete no requiere paja para evitar las fisuras en el acabado del muro. Pesantez en sus clases dictadas en la Universidad del Azuay en el 2018, recomienda el uso de la paja para la colocación del empañete sobre el revoque.

Secado de muestras

Tras desmoldar las muestras, estas fueron colocadas en una superficie plana cubierta de la exposición directa del sol para evitar una pérdida acelerada de humedad que deforme y agriete las muestras. Es necesario girar las muestras para garantizar un secado uniforme. El tiempo de secado de las muestras fue de 15 días ya que al ser un formato mucho menor al adobe que se comercializa comúnmente, éste requiere menor tiempo para el secado.

Acondicionamiento de muestras

Previo al proceso de medición de las muestras, estas deben estar en un equilibrio, lo que significa que deben permanecer en un sitio con temperatura y humedad regulada y constante. En este caso, las muestras



Figura 28. Muestra de adobe
Fuente: Elaboración propia

permanecieron a una temperatura de 23°C con una humedad bajo el 80% durante 24 horas previas a la medición como indica se indica en el informe Anexo 1.



Figura 29. Capa 1 de barro, figura 30. capa 1 de paja, figura 31. capa 2 de barro, figura 32. muestra final de revoque
Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Capa 1 de barro, figura 34. capa 1 de paja, figura 35. capa 2 de barro, figura 36 muestra final de empañete
Fuente: Elaboración propia



04

Resultados

Resultados placa caliente	47
Metodología simulación numérica	47
Aplicación de resultados	47

RESULTADOS

Resultados placa caliente

Los resultados obtenidos en el informe de laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética LABET se desarrollaron bajo las siguientes condiciones: temperatura ambiente de 21,7°C, humedad relativa de 54%, temperatura media del ensayo 23°C y una diferencia de temperatura de 15°C entre las placas. El tiempo de medición aproximado de cada muestra fue de 4 horas en los tres casos debido a que la máquina debe alcanzar el estado estable y luego de ello recopila datos durante una hora. Bajo estas condiciones se obtuvieron los siguientes resultados (Fig. 37).

Resultados simulación numérica

La simulación numérica realizada en el laboratorio (Anexo 2) dio como resultado una transmitancia térmica total de la envolvente de 1,17 W/ m2K, sin embargo se determinó que este resultado se obtuvo redondeando los valores de conductividad térmica por lo que posteriormente se realizó un cálculo con los decimales y se obtuvo un valor de 1,279 W/ m2K este resultado es el más confiable, puesto que, el software therm 7.6 tiene un error de 0%. Por

otra parte el software design builder obtuvo una transmitancia de 1,277 W/m2K. Finalmente la aplicación de la fórmula de transmitancia térmica dio como respuesta un factor U de 1,279 W/m2K (Fig. 38).

Aplicación de resultados

Después de ser analizados los resultados del informe de laboratorio (Anexo 1) estos se aplicaron a la norma ecuatoriana de la construcción, que determina la transmitancia térmica o factor U máximo admisible para cada una de las zonas climáticas del país. En este caso, se tomará como referencia la zona climática 3 que corresponde a la ciudad de Cuenca, cuyo valor es de 2.35 W/m2 K.

La transmitancia térmica se obtiene en función de la conductividad térmica y el espesor de cada elemento del sistema constructivo, esto determina la resistencia térmica de cada material. Para este análisis, se utilizaron los espesores sugeridos por el Instituto Nacional de Patrimonio y Cultura (INPC), el cual menciona que el espesor óptimo de revoque es de 10 mm colocado en 2 capas y un espesor de 3 mm de empañete (INPC, 2011).

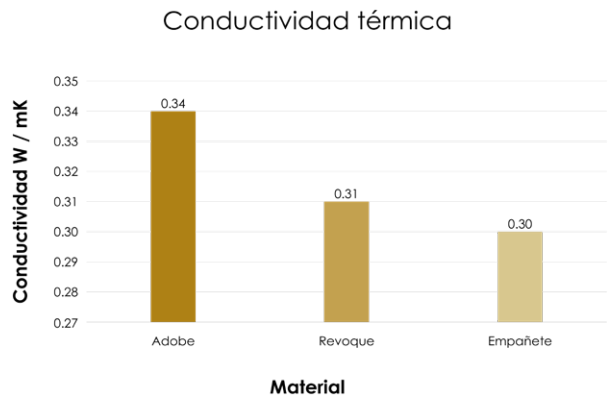


Figura 37. Resultados conductividad térmica de laboratorio
Fuente: Elaboración propia, Obtenido de anexo 1

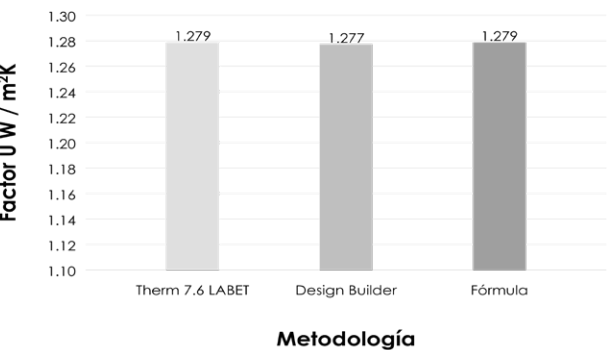


Figura 38. Resultados e simulación numérica
Fuente: Elaboración propia, obtenido de anexo 2 corregido

Al conocer los espesores del revoque y empañete, junto con las fórmulas mencionadas, se crea una ecuación de una incógnita, en este caso la incógnita es el espesor de adobe mínimo para cumplir con el valor de 2.35 W/m²K para la zona climática. Se realizó el mismo procedimiento para determinar el espesor en las otras zonas climáticas (Fig. 39).

Con el propósito de demostrar características térmicas que presenta el adobe como envolvente, se realiza una comparación con otros materiales como el bloque de hormigón y el ladrillo tochana (Fig. 40).

Esta comparación muestra los espesores mínimos de cada material para cumplir con la normativa de factor U de cada zona climática del Ecuador; considerando que para el adobe se considera 1 cm de revoque y 3 mm de empañete a cada lado mientras que, para el ladrillo tochana y bloque de hormigón se considera 2 cm de enlucido y 3 mm de empastado a ambos lados. De esta manera, estos resultados sirven como referencia para el diseño y construcción de edificaciones con los materiales mencionados anteriormente.

Por otra parte se comparan los tres materiales anteriormente mencionados en los aspectos más representativos para la construcción, uno de estos aspectos es el peso por unidad de 400x200x200 (Fig. 41).

Otro aspecto importante que se tomó en cuenta para comparar los tres materiales, es el costo por metro cuadrado de construcción en un muro (Fig. 42). Para este análisis se tomó en cuenta el costo por unidad de cada material (Fig. 43). Teniendo en cuenta que para 1 m² de pared se le agrega el costo del mortero dependiendo el material usado.

Por último, tenemos el rendimiento para la elaboración de un muro de los distintos materiales. Para este punto de comparación se tiene en cuenta una cuadrilla tipo conformada por un peón, un albañil y la supervisión del maestro mayor. Esta cuadrilla tiene un rendimiento h/unidad, es decir que en x horas realizan 1 m² de muro (Fig. 44).

Espesor mínimo de adobe NEC 2018

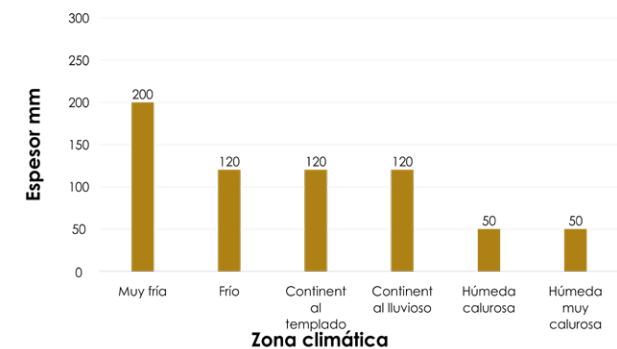


Figura 39. Espesor de adobe según zona climática
Fuente: Elaboración propia

Espesor mínimo NEC 2018

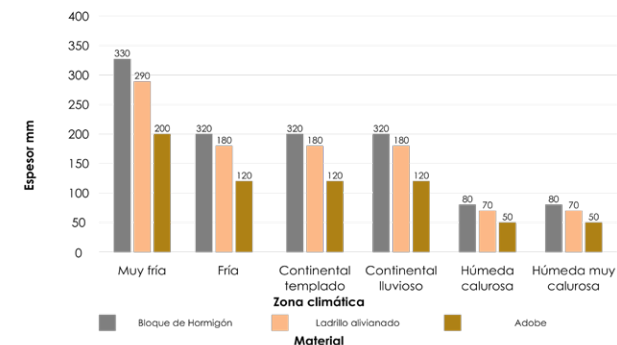


Figura 40. Comparación de espesores según material
Fuente: Elaboración propia

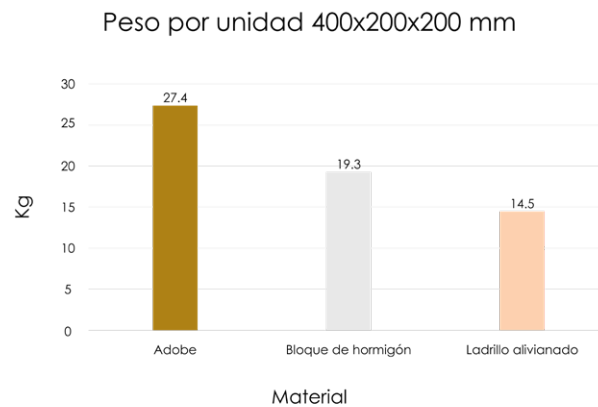


Figura 41. Peso por unidad
Fuente: Elaboración propia

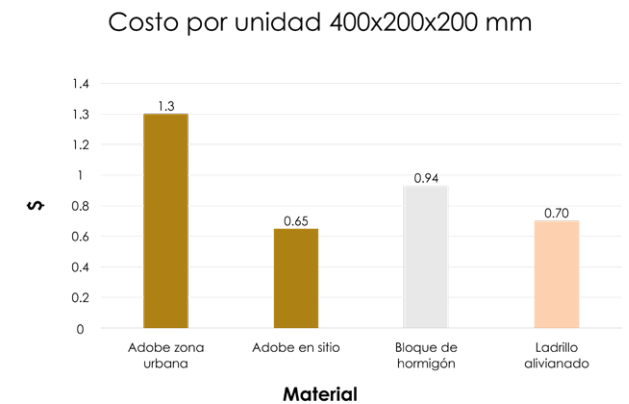


Figura 43. Costo por unidad
Fuente: Elaboración propia

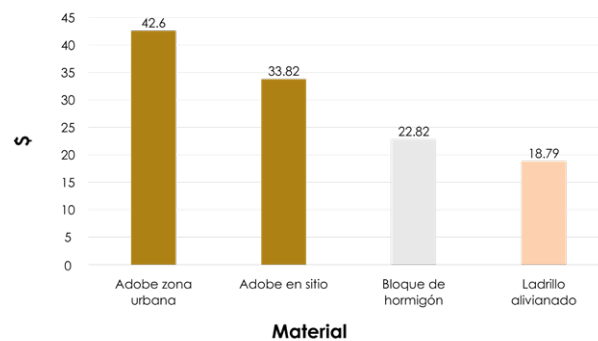


Figura 42. Costo por metro cuadrado de construcción
Fuente: Elaboración propia

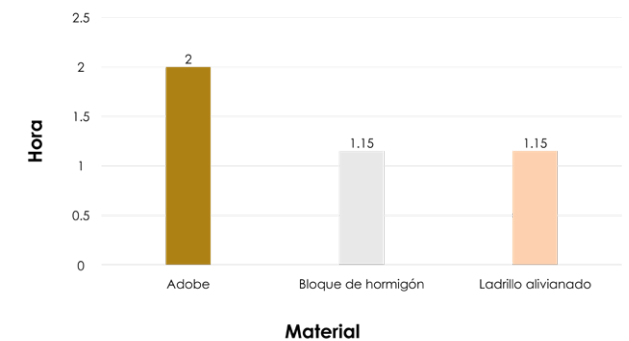


Figura 44. Rendimiento
Fuente: Elaboración propia



05

Discusión

Discusión	53
Discusión simulación numérica	53
Discusión normativa	54
Discusión e materiales	55

DISCUSIÓN

Discusión

El valor de conductividad térmica se obtiene directamente de la máquina λ -Meter EP 500 e a comparación de (Cuitiño et al., 2015) que se debe aplicar la fórmula de balance de energía, la ley de Fourier y reemplazar los datos de funcionamiento del aparato de placa caliente en la fórmula; obteniendo así el resultado de ambas muestras medidas.

Esta diferencia en la forma que se obtienen los resultados podría ser un problema puesto que es posible cometer un error al reemplazar los datos de la fórmula, aumentando el porcentaje de error.

Esto no sucede con el informe de laboratorio debido que sus resultados presentan menos del 1% de error. Al analizar los resultados de conductividad térmica obtenidos en el laboratorio con la metodología de placa caliente de una sola muestra, podemos afirmar que el adobe como envolvente vertical no estructural de una edificación, requiere una sección menor de pared.

Para cumplir la normativa de transmitancia térmica teniendo en cuenta el recubrimiento y el revoque a cada lado como propone el Instituto Nacional de Patrimonio y Cultura (INPC) en comparación con los materiales con los que se construye actualmente, como son el ladrillo y el bloque de hormigón los cuales tienen un recubrimiento de 2 cm de enlucido y 3mm de empastado en ambos lados.

Discusión de simulación numérica

Al igual que (Rivas, 2017) se comprueban los resultados del software utilizando otros instrumentos para verificar si los datos obtenidos sean correctos. Para el presente caso se realizó la simulación numérica en el laboratorio LABET, con la utilización del software design builder, con el propósito de verificar que los resultados de la fórmula de la transmitancia térmica sean similares a los calculados con los istintos programas.

Al analizar los datos de la simulación numérica se puede observar que difiere los datos obtenidos por la fórmulas de transmitancia y el software design builder. La diferencia en los resultados de transmitancia térmica se da debido a que el software therm 7.6 usado en el laboratorio, redondeó los datos de conductividad térmica de cada elemento. Los valores de conductividad térmica de cada elemento (adobe, revoque y empañete) son los mismos que se obtuvieron aplicando la metodología de la placa caliente que se muestra en el informe de laboratorio (Anexo 1).

Teniendo en cuenta esta observación, se realizó posteriormente una corrección en los decimales de la conductividad térmica dando un resultado similar que la fórmula y el software design builder. Finalmente se determinó que el resultado de la fórmula de la transmitancia térmica puede ser aplicado para obtener el factor U de cualquier envolvente ya que los resultados de los softwares usados son similares y su aplicación es sencilla.

Discusión de la normativa

Para este proyecto de investigación se tomó en cuenta la NEC al igual que (Vacacela, 2015) aunque existe una actualización de la misma que presenta algunos cambios, específicamente en el capítulo 13 de eficiencia energética en edificaciones residenciales.

Durante el desarrollo de este proyecto de investigación se publicó la actualización de la NEC, por lo que se consideró esta actualización para la parte principal del estudio. Puesto que ya se había desarrollado el análisis en función de la NEC 2011 en este punto se realiza una comparación entre ambas, teniendo en cuenta algunas diferencias entre las mismas. En primer lugar la normativa del 2011 divide al país en 12 zonas térmicas y las agrupa en 6 zonas climáticas. Cada zona climática tiene un valor máximo admisible de factor U según la temperatura promedio anual de cada zona climática, estas se ordenan de forma ascendente de temperatura (Fig. 45).

Por otra parte la actualización de la norma se realizó en el año 2018 y define a las zonas climáticas en función del clima y de la altura en msnm. Se ordena de forma descendente de temperatura (Fig. 46).

En segundo lugar existe una diferencia en el factor U máximo admisible para cada zona climática, además que su orden varía y algunas zonas se encuentran agrupadas lo que significa que poseen un mismo valor de transmitancia térmica (Fig. 47). Además en la

NEC 2011

Zona climática	Rango de temperatura según INAMHI
1	6 - 10 °C
2	10 - 14 °C
3	14 - 18 °C
4	18 - 22 °C
5	22 - 25 °C
6	25 - 27 °C

Figura 45. Clasificación NEC 2011
Fuente: NEC, 2011

NEC 2018

Zona climática	Nombre
1	Húmeda muy calurosa
2	Húmeda calurosa
3	Continental lluviosa
4	Continental templado
5	Fría
6	Muy fría

Figura 46. Clasificación NEC 2018
Fuente: NEC, 2018

Resumen normativas

Fachadas en contacto con el aire

Zona climática	NEC 2011 Factor U W/m²K	NEC 2018 Factor U W/m²K
1	1	4.61
2	1.25	4.61
3	1.80	2.35
4	2.5	2.35
5	3	2.35
6	3	1.52

Figura 47. Transmitancia térmica máxima según zona climática
Fuente: NEC, 2011, NEC, 2018

actualización del 2018 se considera un valor máximo admisible para la resistencia térmica de la envolvente.

Por las diferencias antes mencionadas se realizó la aplicación de la fórmula de transmitancia térmica a las dos normativas obteniendo los siguientes resultados (Fig. 48 y 49).

Si agrupamos las zonas climáticas de la NEC del 2011 como lo hace la NEC del 2018, la variación de los espesores es mínima, es decir si agrupamos la zona climática 5 y 6 de la NEC 2011 tenemos un espesor de 3 cm, esto en la NEC del 2018 es la zona climática 1 y 2 que tiene un espesor de 5 cm. Para la zona climática 4, 3 y 2 el espesor promedio es de 11,6 cm, esto reflejado en la NEC del 2018 representa la zona climática 3, 4 y 5 con un espesor de 0,12 cm. Por último la zona climática 1 de la NEC 2011 tiene un espesor de 26 cm lo que es 20 cm para la NEC 2018.

Discusión material

Teniendo en cuenta que el factor U máximo permitido en la zona climática 3 es 2.35 W/m2K se requiere un muro conformado de 3 mm de empañete, 10 mm de revoque, 120 mm de adobe, 10 mm de revoque y por último 3 mm de empañete; presentando una sección total de muro de 146 mm. Considerando las proporciones en las que se realizan los bloques de adobe, este debería ser de 24x12x12, con estas dimensiones se podría realizar la mampostería de adobe para la zona climática 3.

Por otra parte tenemos la zona climática 1 y 2 la cual establece el factor U máximo de 4.61W/m2K para el cual se requiere un espesor de adobe de apenas 5 cm, en este caso tomando el mismo criterio de las proporciones del bloque de adobe debería ser de 10x5x5 cm, lo que constructivamente se vuelve muy complicado y esto implicaría mucho más tiempo en la elaboración de la mampostería.

Finalmente tenemos la zona climática 6 con un factor U máximo de 1.32 W/m2K para la cual se requiere una mampostería de 20cm de espesor de adobe, en este caso se puede utilizar los bloques de adobe disponibles en las adoberas ya que sus dimensiones son de 40x20x20 cm, a estos 20 cm se le agrega la capa de 10 mm de revoque y 3 mm de empañete a cada lado dando una sección total de 226mm.

A partir de este análisis de espesores de material, se derivan otros puntos que son los más determinantes para tomar una decisión sobre que material es más conveniente según los requerimientos de la edificación a construir.

Se tomó en cuenta el costo por metro cuadrado de construcción en un muro, como se puede observar en el gráfico 9, existen 2 valores para el adobe: adobe en zona urbana y adobe en sitio. Esto quiere decir que el adobe para construcción en la zona urbana tiene el doble de valor que el adobe realizado en sitio, debido a los costos de transporte que representan

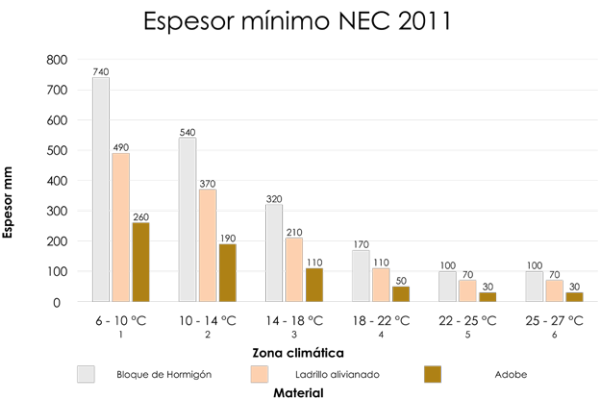


Figura 48. Espesor mínimo según material Fuente: NEC, 2011

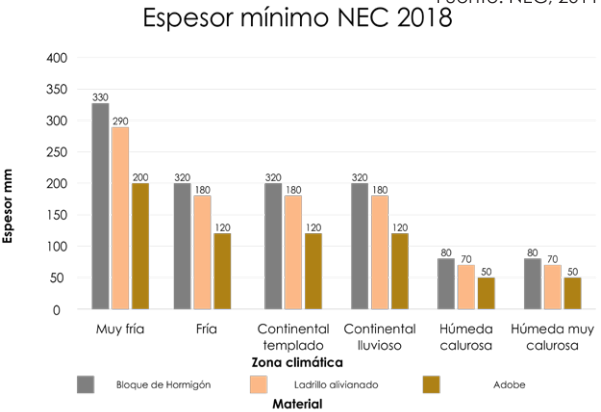


Figura 49. Espesor mínimo según material Fuente: NEC, 2018

desde las adoberas que en su mayoría se encuentran en la zona rural hasta la obra en la zona urbana. A su vez, otro factor que eleva el costo del adobe para la zona urbana, es la mano de obra necesaria para descargar los adobes, puesto que el valor del transporte no incluye el desembarque. Estos costos podrían disminuir a medida que el uso del adobe en masa sea mayor en edificaciones. Según el estudio de (Rivas, 2017) y (Aguilar & Quezada, 2017) la tierra es un material económico que se puede usar del sitio de implantación del proyecto; sin embargo, podemos ver que su precio unitario es superior al de otros materiales.

El adobe tiene una cualidad muy importante, puede ser elaborado en sitio, generalmente se da en zonas rurales donde se obtiene la materia prima en el mismo lugar de implantación de la edificación. Para la elaboración de los adobes en sitio, solamente se considera el valor de la mano de obra y de la paja que se le agrega a la mezcla de barro (Orellana, 2019); por lo tanto el adobe realizado en obra tiene un costo considerablemente menor que el adobe para la zona urbana pero se debe tener en cuenta que se requiere un lugar de almacenamiento cubierto del sol para que se seque durante un periodo de 20 a 40 días (INPC, 2011)

Un punto de comparación importante es el peso, debido a que esto influye directamente en el tiempo de construcción, siendo más difícil de manipular los bloques para armar la mampostería. En este caso el adobe presenta una desventaja puesto

que posee una densidad mayor que el ladrillo y el bloque de hormigón, por ende su peso es mayor.

En cuanto al rendimiento, es otro punto importante que determina el tiempo que implica elaborar la mampostería. En esta comparación, se puede apreciar que elaborar una mampostería de adobe no estructural de 20 cm de espesor implica casi el doble de tiempo que la elaboración de mampostería de ladrillo o bloque de hormigón. Considerando la misma cuadrilla, esto está relacionado con el peso como ha sido mencionado anteriormente puesto que se vuelve complicado la mayor manipulación del bloque por el peso y el espacio que requiere en el entorno de trabajo.

A pesar de que el adobe, al ser elaborado en moldes de madera con forma regular, presentan algunas alteraciones en las dimensiones en consecuencia del proceso de secado. Por lo tanto, se requiere más tiempo en acomodar el bloque de adobe; por otro lado, con el bloque de hormigón o el ladrillo tochana no ocurre lo mismo debido a que estos son elaborados de forma industrializada y cumplen ciertos procesos de control de calidad.

A partir de esta información, se realizó una comparación del costo por m² de construcción de una vivienda con envolvente de materiales industrializados (bloque de hormigón o ladrillo tochana) frente al adobe (Fig. 50). A partir de un presupuesto para

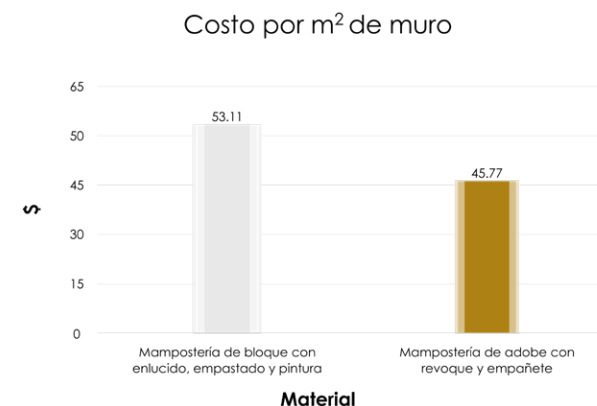


Figura 50. Costo por m² de muro de envolvente
Fuente: Propia

una vivienda de 184m2 de la Cámara de la Construcción de Cuenca se determinó el costo que implica tener una envolvente de bloque de hormigón frente a un envolvente de adobe con revoque y empañete. Para esta comparación se tuvo en cuenta que para la mampostería de bloque de hormigón o ladrillo tochana se requiere enlucido, empastado y pintura; mientras que para la mampostería de adobe se requiere revoque y empañete.

Considerando esos rubros la construcción en mampostería de adobe resulta un 13,8 % más económica que construir mampostería con bloque de hormigón o ladrillo tochana. Sin embargo esta diferencia de costo reflejado en el presupuesto final de una vivienda disminuye a 2,1% ya que existen otros aspectos a considerar (Fig. 51).

La diferencia se da principalmente por el costo unitario de un bloque de adobe, ya que para la zona climática 3 se requiere un espesor de 12cm el formato del bloque sería de 12x12x24 cm a un costo aproximado de \$ 0,35. Además el adobe no requiere pintura interior ni exterior lo cual implica menos rubros y a su vez el costo disminuye.

Por otra parte con una envolvente de adobe se garantiza el cumplimiento de la normativa de transmitancia con los espesores propuestos y resulta ser un material más económico para la construcción de una vivienda.

A partir del análisis realizado con la información de la cámara de la construcción, estos resultados se aplicaron a una vivienda social, en este caso del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), las cuales tienen un área de 36 m2 de construcción. Estas viviendas son realizadas con bloques de hormigón y tienen un costo aproximado de \$200 el m2, si a estas viviendas se le sustituye el envolvente de bloque de hormigón por envolvente de adobe el costo de las mismas se reduciría a \$ 190,80 el m2 de construcción, lo que representa un 4,6% de ahorro en la construcción de la misma y además la vivienda con envolvente de adobe cumple con la normativa y brinda espacios térmicamente más confortables (Fig 52). Por otra parte, el uso del adobe en edificaciones como envolvente, reduce en gran medida el uso excesivo de energía eléctrica necesaria para calentar o enfriar una vivienda, ya que al cumplir con la normativa la vivienda garantiza un espacio 100% confortable.

A través de este análisis, si recordamos la hipótesis planteada en la etapa inicial de la investigación “Los sistemas constructivos tradicionales en tierra presentan mejores propiedades térmicas, económicas y constructivas frente a materiales industrializados como el bloque de hormigón y ladrillo tochana” podemos decir que con este estudio la misma se validó.



Figura 51. Costo por m2 de Construcción según envolvente Fuente: Propia

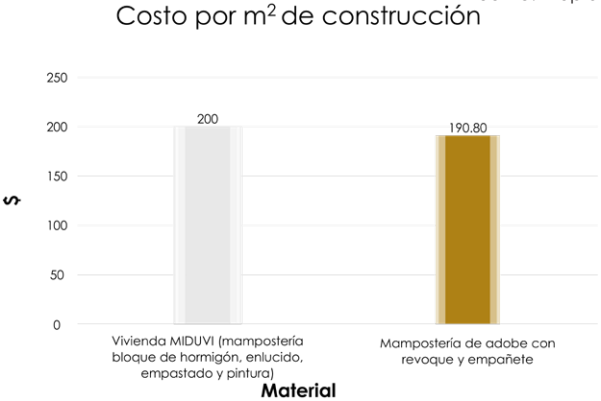


Figura 52. Costo por m2 de Construcción según envolvente Fuente: Propia



06

Conclusiones Recomendaciones

Conclusiones

60

Recomendaciones

62

CONCLUSIONES

A partir de los ensayos y simulaciones de laboratorio realizados, se pudo concluir que los softwares Design builder y Therm 7.6 junto con la fórmula de la transmitancia térmica brindan información confiable en sus resultados de factor U y pueden ser usados para el cálculo de envolventes desde el diseño hasta la construcción de una vivienda.

En base a la aplicación de la fórmula de la transmitancia térmica a la normativa vigente, se concluye que el adobe presenta mejores propiedades térmicas que el bloque de hormigón o ladrillo tochara y puede ser usado como una envolvente vertical en una vivienda mejorando el ambiente térmico al interior con una menor sección de muro, pero se debe tener en cuenta otro tipo de envolventes como la cubierta, pisos, puertas y ventanas para garantizar un ambiente 100% confortable que cumpla la normativa.

En cuanto a la pregunta de investigación, se determinó que los factores que influyen en la transmitancia térmica son principalmente la conductividad térmica y el espesor que se usa en el envolvente, de estos dos valores se obtiene la resistencia térmica del material

con la cual mediante la aplicación de la fórmula del factor U se determina la transmitancia térmica. Existen otros factores como la densidad y el calor específico del material pero estos influyen directamente en la conductividad térmica.

En este proyecto de investigación presentó dificultades al principio debido la ciudad no dispone de los instrumentos de laboratorio para realizar las pruebas de conductividad térmica requeridas, sin embargo esta dificultad se mitigó a través de una solicitud a la ESPOL para el uso del Aparato de placa caliente que realizó las mediciones a las muestras requeridas y la simulación numérica con el software therm7.6.

RECOMENDACIONES

En base al estudio realizado se recomienda construir con mampostería de adobe para envolventes con los espesores propuestos según la zona climática, debido a que posee mejores propiedades térmicas que los materiales industrializados usados mayormente, además se evidenció que la mampostería de adobe en el costo total de una vivienda resulta más económico que la mampostería de bloque de hormigón o ladrillo tochana y además de ser más económica reduce el consumo de energía eléctrica para sistemas de calefacción o enfriamiento.

Otras recomendaciones que podrían reincorporar el adobe como material son:

- Exponer las cualidades que posee la tierra como material de construcción a través de talleres a profesionales y obreros con el fin de conocer todas las propiedades que tiene el material y los beneficios que puede tener al utilizarlo como material principal en la construcción de edificaciones.
- Promover el estudio de sistemas constructivos tradicionales en tierra en la formación de profesionales, debido a que en la actualidad los sistemas tradicionales no se enseñan a profundidad en la acade-

mia, por esta razón la construcción tradicional se ha revalorizado en los últimos años.

- Crear capacitaciones y talleres sobre el sistema constructivos para profesionales y obreros que explique el funcionamiento del sistema, ya que actualmente el conocimiento en este tipo de construcciones tradicionales es empírico y podrían ser desarrollados con el fin de reintroducirlos al mercado.
- Exponer la riqueza cultural y patrimonial que refleja el material en nuestra ciudad para tener conciencia sobre lo que implica demoler edificaciones para ser restauradas utilizando diferentes técnicas constructivas, lo que implica la pérdida de valor cultural.
- Creación de eventos municipales o gubernamentales que incentiven el uso del adobe en edificaciones para que las personas conozcan los beneficios que posee el adobe en una edificación y el ahorro energético que implica a largo plazo.
- Incorporar el adobe en programas de vivienda social brindando una vivienda térmicamente más confortable, contemplando las condiciones del clima del lugar a implantar para evitar problemas de salud en los usuarios por las bajas temperaturas o por la hu-

medad excesiva que conlleva la construcción con bloque de hormigón o ladrillo tochana al no contemplar las condiciones climáticas.



07

Bibliografía

Texto
Creditos

67
69

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, G., Karkri, M., Lefebvre, G., Horn, M., Solis, J., & Gómez, M. (2017). Thermal properties of adobe employed in Peruvian rural areas: Experimental results and numerical simulation of a traditional bio-composite material. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.02.001>
- Aguilar, E., & Quezada, R. (2017). Caracterización física y mecánica del Adobe en el cantón Cuenca. Universidad de Cuenca, Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28143>
- ASTM (2004). Retrived from <https://www.astm.org/Standards/C177.htm>
- Barreto, L. F. (2014). ESTUDIO SOBRE LA FABRICACIÓN Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ADOBE UTILIZADO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA PARROQUIA PALETILLAS, CANTÓN ZAPOTILLO. Retrieved from <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10603/1/TESIS.pdf>
- Bedoya, C. (2007). Construcción sostenible: para volver al camino. (Dike, Ed.), Journal of Experimental Psychology: General. Medellín. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/3738/>
- C therm technologies (s.f.) . Retrived from https://ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/helpful_links_tools/thermal_resistance_thermal_conductance/lang/es/
- Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de La Construcción. <https://doi.org/10.3989/ic.10.011>
- Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., & Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de La Construcción. Retrieved from <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4025/4585>
- Dao, K., Ouedraogo, M., Millogo, Y., Aubert, J., & Gomi-na, M. (2018). Thermal, hydric and mechanical behaviours of adobes stabilized with cement. Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.001>
- Design builder lat (s.f.) Retrived from <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/descripcion-general>
- Ellsen (s.f.). Retrived from <https://polipastoelectrico.com.mx/que-es-un-polipasto-electrico/>
- European standards (2001). Retrived from <https://www.en-standard.eu/din-en-12667-thermal-performance-of-building-materials-and-products-determination-of-thermal-resistance-by-means-of-guarded-hot-plate-and-heat-flow-meter-methods-products-of-high-and-medium-thermal-resistance-english-version-of->
- Evans, J. M., Garzon, L., & de Schiller, S. (2012). Construcción con Tierra 5. In U. de B. A. Centro de Investigación Hábitat y Energía Secretaría de investigaciones, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (Ed.) (pp. 103–114). Buenos Aires: Centro de Investigación Hábitat y Energía y Instituto de Arte Americano FADU – UBA. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/151807279.pdf#page=125>
- Fomento, M. de. (2014). Documento de apoyo al documento básico DB-HE Ahorro de energía Código técnico de la edificación. Retrieved from http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/DA-DB-HE-3_Puentes_termicos.pdf
- Garzón, L. (2017). Dialogando con la tierra: un material del pasado para el futuro. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/324683241_dialogando_con_la_tierra_un_material_del_pasado_para_el_futuro
- Gatti, F. (2012). ARQUITECTURA y CONSTRUCCIÓN en TIERRA Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16141>
- Gedeón, L. (2013). Confort y comportamiento termico

- en cerramientos con materiales naturales, tecnica de construccion tejamanil en Republica Dominicana. Retrieved from <https://www.aie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/TESINA-Geodeon-Luis.pdf>
- González Sánchez, B. (2013). INFORME DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y MECÁNICAS DEL SISTEMA MODULAR S-Low DE CONSTRUCCIÓN CON ESTRUCTURA DE MADERA Y ENVOLVENTE DE TAPIA. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21029/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INPC (2011). Retrieved from <https://issuu.com/inpc/docs/arquitectura>
- Lambda-Messtechnik GmbH Dresden (s.f.). Retrieved from <http://www.lambda-messtechnik.de/en/thermal-conductivity-test-tool-ep500e/lambda-meter-ep500-characteristics.html>
- NEC. (2011). NEC. Retrieved from <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-13-eficiencia-energ3a9tica-en-la-construcc3b3n-en-ecua-dor-021412.pdf>
- NEC. (2018). NEC. Retrieved from <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- Orellana, V. (2017). Adobe, puesta en valor y estrategias para la conservacion de una cultura constructiva. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28182?locale=es>
- Organizacion internacional de normalizacion (1991). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/15422.html>
- Pastor Villa, R. M. (2018). Cálculo de la transmitancia térmica de un muro de fachada. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103422/Pastor-CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE UN MURO DE FACHADA.pdf?sequence=1>
- Piñas, J. (2018). Estudio de las Propiedades Térmicas, Mecánicas, Morfológicas y Estructurales del Adobe como Material Biocompósito. Retrieved from <http://cybertesis.uni.pe/handle/uni/13252>
- Real academia española (2018). Retrieved from <https://dle.rae.es/?id=ZZq1lpo>
- Real academia española (2018). Retrieved from <https://dle.rae.es/?id=MCdG2zY>
- Rivas, P. (2017). CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS VERNÁCULAS, TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN DE BAHAREQUE EN AZOGUES - ECUADOR. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28746>
- Saneamiento, M. de vivienda construccion y. (2017). Norma E.080 diseño y construcción con tierra reforzada. Retrieved from <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3478>
- Toledo, J. P. (2011). ANÁLISIS DEL CONFORT TÉRMICO EN EL PROCESO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO. APLICACIÓN SOFTWARE ECOTECT. Retrieved from <https://mx.123dok.com//document/dzxo1nzt-analisis-del-confort-termico-en-el-proceso-de-diseno-arquitectonico-aplicacion-software-ecotect.html>
- Vacacela, N. (2015). Paneles de bahareque prefabricado y aplicación a una vivienda. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23224>
- Wikipedia (2019). Retrieved from https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_estacionario
- World Heritage Earthen Architecture Programme, W. H. E. A. (2012). World Heritage Earthen Architecture Programme. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000217020>

CREDITOS DE IMAGENES

- Abanto, G., Karkri, M., Lefebvre, G., Horn, M., Solis, J., & Gómez, M. (2017). Thermal properties of adobe employed in Peruvian rural areas: Experimental results and numerical simulation of a traditional bio-composite material. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.02.001>
- Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., & Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de La Construcción. Retrieved from <http://informesde-laconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informes-de-laconstruccion/article/view/4025/4585>
- Dao, K., Ouedraogo, M., Millogo, Y., Aubert, J., & Gomi-na, M. (2018). Thermal, hydric and mechanical behaviours of adobes stabilized with cement. Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.con-buildmat.2017.10.001>
- Evans, J. M., Garzon, L., & de Schiller, S. (2012). Construcción con Tierra 5. In U. de B. A. Centro de Investigación Hábitat y Energía Secretaría de investigaciones, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (Ed.) (pp. 103–114). Buenos Aires: Centro de Investigación Hábitat y Energía y Instituto de Arte Americano FADU

- UBA. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/151807279.pdf#page=125>
- INPC (2011).Retrived from <https://issuu.com/inpc/docs/arquitectura>
- Lambda-Messtechnik GmbH Dresden (s.f.). Retrived from <http://www.lambda-messtechnik.de/en/thermal-conductivity-test-tool-ep500e/lambda-meter-ep500-characteristics.html>
- NEC. (2011). NEC. Retrieved from <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-13-eficiencia-energ3a9tica-en-la-construccic3b3n-en-ecua-dor-021412.pdf>
- NEC. (2018). NEC. Retrieved from <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- Orellana, V. (2017). Adobe, puesta en valor y estrategias para la conservacion de una cultura constructiva. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28182?locale=es>
- Rivas, P. (2017). CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS VER-NÁCULAS, TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN DE BAHARE-QUE EN AZOGUES - ECUADOR. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28746>

- Sites google (s.f.). Retrived from <https://sites.google.com/site/formaciondesuelo/perfil-de-suelo>
- Vacacela, N. (2015). Paneles de bahareque prefabricado y aplicación a una vivienda. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23224>
- Wikipedia (2014). Retrived from https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Casa_de_Adobe.JPG
- World Heritage Earthen Architecture Programme, W. H. E. A. (2012). World Heritage Earthen Architecture Programme. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000217020>

CREDITOS

- Corrección de estilo:
Lic. Jackeline Verdugo. Mgst. PhD.



08

Anexos

Abstract	73
Informe de laboratorio 1	74
Informe de laboratorio 2	75

ANEXOS

Thermal Transmittance of Construction Systems in Soil

ABSTRACT

A correct thermal performance depends on an adequate envelope thickness. In this research, the thermal properties of each element that makes up the traditional construction system were analyzed by means of a thermal characterization with the λ -MeterEP500e hot plate apparatus.

The thermal conductivity results were applied to the transmittance formula, obtaining the required wall thickness for each climatic zone of the country which will be useful for a later masonry design. Finally, the viability of the traditional system was determined as a thermal envelope compared with the masonry values of brick and concrete block.

Keywords: adobe, U-factor, thermal conductivity, thermal resistance, hot plate, envelope, façade

Student's Signature

Thesis Supervisor Signature
Pablo Esteban Ochoa Pesantez

Student's name: Carlos Santiago Cabrera Cordova



A handwritten signature in blue ink, belonging to Pablo Esteban Ochoa Pesantez, the thesis supervisor.

Translated by:
Andrew Smith

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA FORMATO TÉCNICO REPORTE DE CONDUCTIVIDAD		LABET FT 05.1
	Edición 2	Fecha de Revisión: 2018/12/14	Pag 1 de 3

Guayaquil, 27 de marzo de 2019

Código de Solicitud S19-010

Atención: Carlos Cabrera Córdova
 Institución: Universidad de la Azuay (UDA)
 Teléfonos: 593995343781
 Dirección: Av. 24 de mayo y Av. de la Américas.
 e-mail: carloscabrera@es.azuay.edu.ec

Requerimiento:

Ensayo para la determinación de conductividad térmica en 3 materiales que conforman un sistema constructivo. Adobe (Bloque rígido de barro mezclado con paja), Revoque (bloque rígido de barro mezclado con estiercol y paja), Empaquete (bloque rígido de barro con goma blanca). Las muestras tienen una geometría aproximada de 140 x 140 x 55 mm.

Métodología:

El ensayo para la determinación de conductividad térmica es fundamentado en el estándar ISO 8302 por el método de placa caliente resguardada. El valor de la conductividad se obtiene en condición de estado estable, midiendo el espesor, el flujo de calor y las temperaturas superficiales fijas en ambas caras de la muestra.

El procedimiento permite medir un rango de conductividades de 0.002 a 2.5 W / m-K. Las muestras deben ser de composición homogénea, de un tamaño mínimo de 150 x 150 mm² (área de medida de 150 x 150 mm²), con espesores desde 10 mm hasta 200 mm. Los ensayos se ejecutan a temperaturas medias desde -10°C hasta 50°C, con un diferencial de temperaturas entre placas de 15°C. El método muestra limitación en la aplicación sobre materiales heterogéneos o no isotrópicos. Las modificaciones al procedimiento estándar se listan en la hoja 2 del informe.

Declaración:

- * Los Resultados del presente informe son atribuibles únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).
- * El Labet no realiza procedimientos de muestreo.
- * Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin autorización manifiesta del LABET.

José Macías
 Analista Técnico

Guillermo Soriano
 Investigador Principal

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33
 593-42269703

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA FORMATO TÉCNICO REPORTE DE CONDUCTIVIDAD		LABET FT 05.1
	Edición 2	Fecha de Revisión: 2018/12/14	Pag 2 de 3

Equipamiento:

S19-010

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.
 Accesorio: No se aplicó
 Muestra de Verificación: Glas210
 Verificación: 2017-01-15

Condiciones de la(s) Muestra(s):

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m ³	Otros (Color, composición)
1	1903001	145	150	58,38	2166,90	1706,54	Adobe
2	1903002	140	140	54,90	1806,30	1678,66	Revoque
3	1903003	140	140	55,16	1455,80	1346,55	Empaquete

Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

Modificaciones al procedimiento o a las muestras:

- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 2.- Utilización de almudillas térmicas

Condiciones ambientales de ensayo:

Temperatura Ambiente Promedio: 21,7 °C

Humedad Relativa: 54,0 %

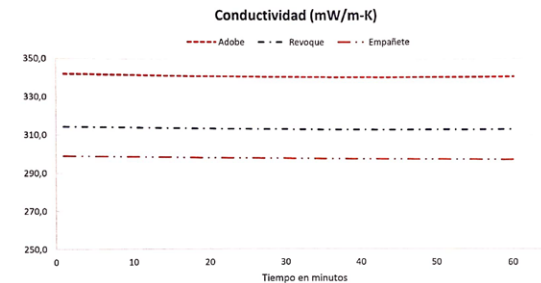
Laf

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33
 593-42269703

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA FORMATO TÉCNICO REPORTE DE CONDUCTIVIDAD		LABET FT 05.1
	Edición 2	Fecha de Revisión: 2018/12/14	Pag 3 de 3

Resultados

S19-010



Temperatura media de ensayo: 23 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

			Id. Muestra
Conductividad Térmica:	0,3412	W/m-K	1903001
	0,3136	W/m-K	1903002
	0,2981	W/m-K	1903003

Observaciones:

Responsable de Calidad

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33
 593-42269703

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA FORMATO TÉCNICO REPORTE DE VALOR "U" PARA ENVOLVENTES	LABET FT 15
Edición: 1	Revisión: 2018/01/22	Aprobado: 2018/01/23
Página 1 de 3		

Guayaquil, 2 de mayo de 2019

Código de Solicitud S19-011

Atención: Sr. Carlos Cabrera Córdova
Institución: Universidad del Azuay
Teléfonos: +593 9 9534381
Dirección: Cuenca
e-mail: carloscabrera@es.uazuay.edu.ec

Requerimiento:
Determinación de la transmitancia térmica total en 1 sistema de envoltente. El detalle de las muestras, tales como dimensiones, forma y propiedades de los materiales fueron proporcionadas por el solicitante.

Metodología:
Para la estimación del valor de resistencia térmica total se utilizó la herramienta computacional apropiada para análisis de conducción bidimensional. La herramienta es basada en métodos de elementos finitos y fue desarrollada por Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL).

Declaración:
* Los Resultados del presente informe son atribuibles únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).
* El Laboratorio no realiza procedimientos de muestreo.
* Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin autorización manifiesta del LABET.

Herramientas:
Software: THERM
Versión: 7.6
Desarrollador: Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)
Publicado: 2017-11-17

José Macías
Analista Técnico

Guillermo Soriano
Investigador Principal

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética
km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33
593-42269703



	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA FORMATO TÉCNICO REPORTE DE VALOR "U" PARA ENVOLVENTES	LABET FT 15
Edición: 1	Revisión: 2018/01/22	Aprobado: 2018/01/23
Página 2 de 3		

Condiciones de la(s) Muestra(s):

Código	Denominación	Condición de Prueba	Características
1	1903004	Temperatura exterior: 16°C Temperatura interior: 26°C	Conformado de geometría regular. Compuesto de tablero de empaquete, revoque y adobe con espesor total de 206 mm.
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Definiciones

Temperatura Interior.- Temperatura estable del aire al interior.
Temperatura Exterior.- Temperatura estable del aire al exterior.
Temperatura Superficial exterior.- Temperatura en la superficie expuesta al exterior.
Error Normalizado.- Error numérico, generado por muestreo.

Acondicionamiento y modificaciones

- 1.- Geometrias curvas o complejas fueron simplificadas para la conveniencia del muestreo.
- 2.- Los modelos simplificados de convección y radiación fueron definidos acorde a las recomendaciones del estándar ISO 6946.

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética
km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33
593-42269703

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA FORMATO TÉCNICO REPORTE DE VALOR "U" PARA ENVOLVENTES	LABET FT 15
Edición: 1	Revisión: 2018/01/22	Aprobado: 2018/01/23
Página 3 de 3		

Descripción de Materiales

Material:	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/m-K)	Emisividad
1 Empaquete	1345,5	0,298	0,9
2 Revoque	1678,7	0,313	0,9
3 Adobe	1706,5	0,341	0,9
4			

Resultados

Código	Denominación	Transmitancia Térmica Total U (W / m ² K)	Diferencial de Temperatura	Error Normalizado (%)
1	1903004	1,171	10	0,0%
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Anexos:

1.- Detalle de Isotermas



Responsable de Calidad

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética
km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33
593-42269703