

## Evaluación del comportamiento térmico de módulos experimentales construidos con paredes de mampuesto en QUITO

### Evaluation of the thermal behavior of experimental modules built with masonry walls in QUITO

Paulina Viera <sup>1,2</sup>, Freddy Tapia <sup>3</sup>, José María Monzó <sup>1</sup>, Xavier Fuentes <sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón, Universitat Politècnica de València,

<sup>(2)</sup> Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática Civil. [lviera@uce.edu.ec](mailto:lviera@uce.edu.ec)

<sup>(3)</sup> Universidad Central del Ecuador, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. [frtapiao@uce.edu.ec](mailto:frtapiao@uce.edu.ec), [xfuentes@uce.edu.ec](mailto:xfuentes@uce.edu.ec)

Recibido: Septiembre 2017 Aceptado: Noviembre, 2018

### RESUMEN

El presente trabajo trata de la evaluación experimental del comportamiento térmico de tres módulos, en forma de estructuras cúbicas, realizados cada uno con paredes perimetrales construidas con un tipo de mampuesto diferente (bloque hueco de hormigón y ladrillos cerámicos macizo y hueco) de amplio uso en las edificaciones del Ecuador. Para evaluar cuál de los mampuestos utilizados tiene mayor nivel de aislamiento, las estructuras fueron emplazadas, a la intemperie, durante 7 días del mes de Julio de 2018, en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, de la Universidad Central. Durante el estudio se tomaron mediciones de temperatura, tanto del ambiente exterior como del ambiente interior de los prototipos, que se encontraban convenientemente aislados a nivel de piso y techo. Además, se analizan datos de temperatura superficial de los mampuestos estudiados en las caras internas y externas de las paredes de los prototipos, para lo cual se utilizó una cámara termo gráfica.

Los resultados obtenidos ubican al bloque hueco de hormigón como el material que obtuvo mejores resultados en cuanto al aislamiento térmico del ambiente interior del módulo tomando como referencia las temperaturas de confort térmico para el ser humano en estado de actividad y reposo.

**Palabras clave:** mampuestos, paredes, aislamiento térmico, comportamiento térmico

## ABSTRACT

The present work deals with the experimental evaluation of the thermal behavior of three modules, in the form of cubic structures, each one made with perimeter walls built with a different type of masonry, of wide use in the buildings of Ecuador. To evaluate which of the masonry used has the highest level of isolation, the structures were placed, out in the open, during 7 days of July 2018, at the facilities of the Faculty of Engineering, Physical Sciences and Mathematics, of the Universidad Central del Ecuador. During the study, temperature measurements were taken of both the exterior and the interior environments of the prototypes, which were conveniently insulated at the floor and ceiling levels. In addition, surface temperature data of the masonry are taken using a thermo graphic camera.

The results obtained in this research place the hollow block of concrete as the material that obtained the best results in terms of thermal insulation of the interior of the module, taking as reference the thermal comfort temperatures for the human being in a state of activity and rest.

**Key words:** masonry, walls, thermal insulation, thermal behavior

## 1. INTRODUCCIÓN

En la construcción de edificaciones para la elaboración de muros o paredes se utiliza mampuestos los cuales tienen distintas propiedades termo físicas, que idealmente deben responder al tipo de clima del sitio donde está implantada la obra civil. (Esteves, 2004)

En Quito, las temperaturas son estables. En general el día es cálido y puede alcanzar valores de 22 a 24 °C, las noches son frescas, con una estimación de 7 a 9 °C; siendo la amplitud térmica, o sea la diferencia de temperaturas entre el día y la noche, alta (14 a 15 °C). (Clima en el mundo, s.f.)

Dada esta condición, las paredes de las viviendas a más de ser consideradas como elementos con funciones estructurales y no estructurales, también deben cumplir la función de aislante térmico, es decir conformar una barrera que atenúe las inclemencias climáticas del exterior, para mantener las condiciones de confort térmico interior, minimizando la posibilidad de consumo de energía para este fin. Se toma en cuenta que la temperatura más confortable para el ser humano, en estado de reposo, está entre 18 y 20 °C. Si está trabajando, la cifra desciende al intervalo comprendido entre 15 y 18 °C, según el tipo de movimiento y la intensidad con la que se realiza la actividad. (Vivienda Saludable, s.f.) (Ballén, 2014)

En este contexto, el uso de sistemas activos de climatización (artefactos mecanizados con consumo de energía) en edificaciones en Ecuador, según proyecciones del Green Cooling Initiative<sup>0</sup>, aumentará del 15% en 2015 al 35% en 2030, lo cual se verá reflejado en un incremento de la demanda energética a nivel

residencial (Castillo, 2016). Esto genera la necesidad de encontrar alternativas en el diseño de viviendas, que consideren las condiciones climáticas del lugar.

Acorde a esta necesidad, se está priorizando la aplicación de sistemas de climatización pasivos, utilizando materiales de construcción que mantengan las condiciones de confort térmico en las edificaciones (Gómez, 2018) y minimizando el consumo energético. Con tal propósito, se promueve el estudio de las propiedades físicas de los materiales utilizados en la elaboración de paredes tales como: Resistencia Térmica (capacidad de oponerse a un flujo de calor); Transmitancia Térmica (calor que se pierde o se gana a través de un elemento); Energía incorporada en los materiales (energía consumida por todos los procesos asociados a la producción del material, desde la adquisición de los recursos naturales para la fabricación). Revisando investigaciones llevadas a cabo internacionalmente se obtienen valores como los que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Propiedades físicas de materiales usados en la construcción de viviendas.

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA (m <sup>2</sup> k/w)	TRANSMITANCIA TÉRMICA (w/m <sup>2</sup> K)	ENERGÍA INCORPORADA EN LOS MATERIALES Kwh/Kg
Hormigón	0,41 <sup>(7)</sup>	2.46 <sup>(7)</sup>	0,7 <sup>(5)</sup>
Bloque Hueco	(0.159-0.171) <sup>(7)</sup>	(6.29 – 5.85) <sup>(7)</sup>	0.6 <sup>(6)</sup>
Bloque Macizo	0.18 <sup>(8)</sup>	5.55 <sup>(8)</sup>	0.6 <sup>(6)</sup>
Adobe	0.36 <sup>(4)</sup>	2.73 <sup>(4)</sup>	(0.13-0.4) <sup>(5)</sup>
Fardo Paja	0,17 <sup>(1)</sup>	0,13 <sup>(2)</sup>	0.5 <sup>(3)</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

1. (Molina, 2013, pág. 6)
2. (Menéndez, 2017, pág. 129)
3. (Volantín V, 2007)
4. (Cuitiño, 2015, pág. 7)
5. (Vázquez, 2001, pág. 34)
6. (Quispe Gamboa, 2016, pág. 40)
7. (Pérez B, 2010, pág. 1)
8. (Pérez B, 2018, pág. 1)

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador INEC, obtenidos en el último Censo de Población y Vivienda 2010, el 78.3% de viviendas en la provincia de Pichincha, tienen paredes de ladrillo o bloque (Páez, 2018). Sin embargo, no se dispone información acerca de la capacidad aislante que tienen estos materiales producidos localmente, por lo que este trabajo investigativo

busca obtener criterios útiles, para los constructores y actores involucrados en la construcción civil en Ecuador, que aporten al entendimiento de este tema, partiendo de la hipótesis comúnmente aceptada en el medio local de que los ladrillos macizos proporcionan mejor aislamiento térmico a las edificaciones.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 638, un bloque hueco de hormigón es “un elemento simple hecho de hormigón, en forma de paralelepípedo, con uno o más huecos transversales en su interior, de modo que el volumen del material sólido sea de 50% al 75% del volumen total del elemento”. (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2014).

Se encuentra dentro de la categoría de mampuestos que son manipulados en obra, el cual es prefabricado a base de cemento portland, agua y áridos finos y/o gruesos con o sin aditivos. (Sierra, 2014). La fabricación de estos bloques en el Ecuador se lo realiza usualmente en un proceso semi-industrial, mediante la utilización de maquinaria para el moldeo y con materiales característicos del país. Por ejemplo, los bloques de hormigón hueco que se utiliza en este estudio se construyó utilizando piedra pómez (LAPILLI) como agregado grueso.

Los bloques que generalmente son de color gris claro con una textura de superficie granular. El procedimiento de elaboración consta de los siguientes pasos: Mezcla, Moldeo, Curado y Almacenamiento. (Bloqueras.org, s.f.). Por tener mayores dimensiones que el ladrillo, permite la construcción de paredes en tiempos más reducidos (Construmatica.com, s.f.).

La Norma Técnica INEN 293, define al ladrillo común (mambrón) como un “ladrillo moldeado a mano (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 1997). En esta investigación también se ha considerado este mampuesto de producción artesanal, debido a la alta demanda que tiene para la construcción en el país. El proceso de fabricación comienza mezclando agua, arcilla, aserrín entre otros, hasta tener una pasta uniforme y manejable, que es llevada a un lugar abierto donde se coloca en moldes de madera; una vez retirado el molde se obtiene el ladrillo en crudo que se deja al sol por un tiempo de secado de 48 horas en promedio. Finalmente, los ladrillos son llevados a hornos de cocción artesanales durante un periodo que oscila entre 2 y 3 días a una temperatura máxima que varía entre 800 y 1300 °C. Estos hornos funcionan primordialmente con gas natural, carbón, y leña. (Guerrero G. & Espinel B., 2017, págs. 118-131).

Por último, se utiliza también ladrillos huecos, que la Norma INEN 293 son ladrillos “fabricados a máquina con perforaciones en su interior, que pasan del 20% de su volumen” (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 1997). Para su fabricación, la arcilla se dispone dentro de moldes de acero y se comprime, de ello resulta un ladrillo regular en forma y tamaño, con aristas perfectas y superficies lisas.

Si se emplean arcillas especiales se consiguen piezas con acabados atractivos para obra y de características mecánicas aceptables. (Zepeda J, 2001).

Es necesario indicar que de acuerdo a varios estudios bio-ambientales, se demuestra que dentro de todas las variables ambientales (por ejemplo: temperatura exterior, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica relativa) es la temperatura las que tienen mayor influencia, por tal motivo, es importante la elección de los materiales apropiados para el diseño y construcción de las envolventes de las estructuras (Evans, 2005).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Materiales Analizados

Los mampuestos utilizados, para construir los módulos experimentales proceden de la parroquia de Pifo en la Provincia de Pichincha.

Se trata de bloques de hormigón hueco (40x15x19) cm, ladrillo mampión de arcilla cocida (35x17x8) cm y ladrillo prensado hueco (28.5x13x9.5) cm. En la tabla 2 se muestran las densidades y la nomenclatura que se adoptará en este artículo para identificar los diferentes mampuestos.

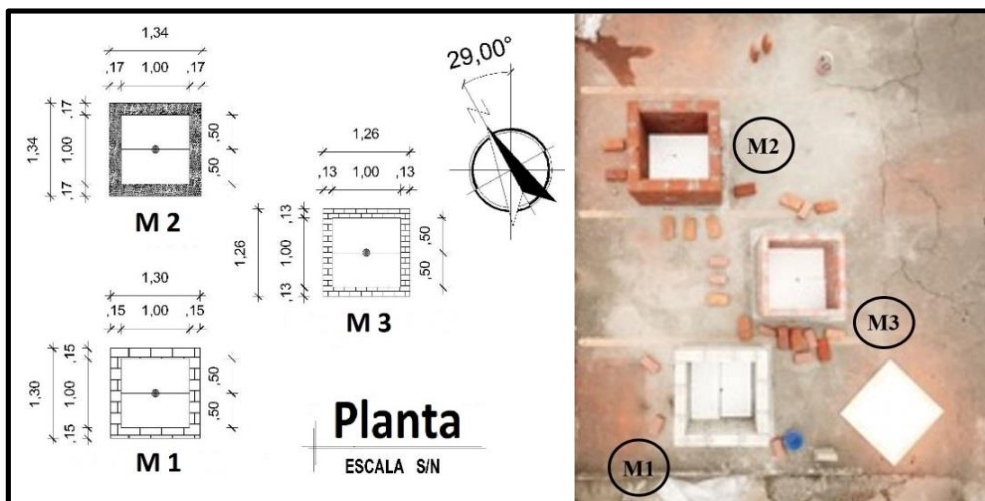
**Tabla 2.** Densidad promedio de los mampuestos utilizados en el estudio.

	TIPO DE MAMPUESTO	IDENTIFICACIÓN	MASA PROMEDIO	DENSIDAD PROMEDIO
			M	d
			(gr)	(gr/cm <sup>3</sup> )
	Bloque de hormigón hueco/piedra pómez	M1	11586,667	2,142
	Ladrillo artesanal	M2	8008,000	1,701
	Ladrillo industrial	M3	2809,000	2,032

**Fuente:** Elaboración Propia

Los módulos experimentales consisten en 3 cubos cuyo espacio interior corresponde a 1 m<sup>3</sup>. Las paredes fueron realizadas con los diferentes mampuestos descritos, utilizando un mortero de pega a base de cemento, en proporción 1 a 3 respecto de la arena.

Los cubos se levantaron sobre pavimento firme, aislándolos del mismo mediante plástico transparente, sobre el cual se colocó una plancha de poli estireno expandido de 2 cm de grueso, y de área igual al piso de la estructura. Como cubierta se usó una plancha de madera de aglomerado de 2.5 cm de espesor, en cuya cara interna se adhirió poli estireno expandido con las mismas características del utilizado en el piso. En la Figura 1, se observa una fotografía en planta de los módulos, esquemas con sus dimensiones y su orientación geográfica.



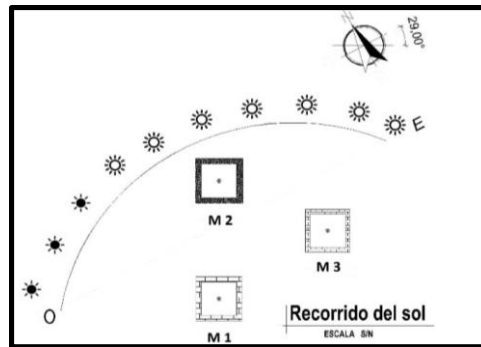
**Figura 1.** Vista aérea, planta y dimensiones de los módulos experimentales  
(Todas las unidades en metros)

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.2 Método experimental

La presente investigación se realizó en las instalaciones del parqueadero del Laboratorio de Ensayo de Materiales, de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador, localizado en la ciudad de Quito, del 25 de Junio al 2 de Julio de 2018.

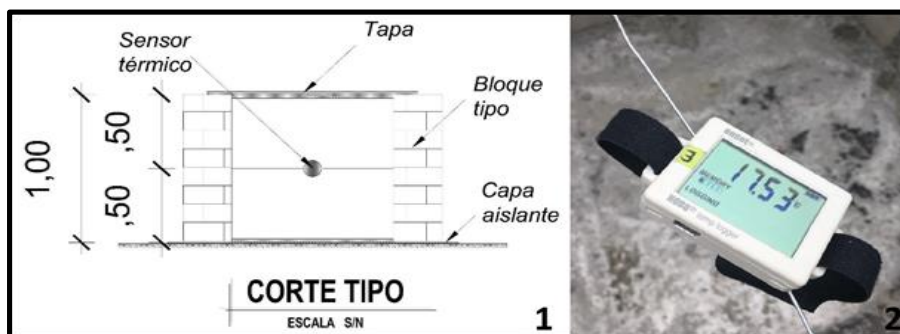
La ubicación y orientación geográfica de los módulos experimentales, fue dispuesta, en virtud de, la cantidad de radiación solar directa a la que están expuestas las estructuras en estudio, de manera que, esta sea similar en las diferentes horas del día, sin que ninguna de las estructuras genere sombra que afecte a otra, como se observa en la Figura 2.



**Figura 2.** Recorrido del sol, respecto de la ubicación de los módulos experimental **Fuente:** Elaboración Propia

El conjunto de mediciones que se describen a continuación se realizó con los siguientes instrumentos: a) Tres sensores térmicos HOBO UX100-001 marca Onset, (Hoboware, n. d.) b) Una estación meteorológica WS-1200 marca Ambient Weather, (Lakes Environmental, n. d. c.) c) Una cámara termo gráfica marca Flir E4 (FLIR Systems, n. d.); siguiendo los lineamientos de la norma ISO 10878: 2013.

El método investigativo utilizado, se basa en el monitoreo automático de los parámetros ambientales (temperatura exterior, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento, y presión atmosférica relativa) y temperatura de los tres espacios internos, de 1m<sup>3</sup> de volumen, conformados cada uno por paredes perimetrales de mampuesto, selladas tanto en su parte inferior como superior. Puesto que se crea un ambiente aislado, se colocó un sensor térmico, a una altura de 50 cm, que coincide con el centro geométrico del volumen de aire en el interior de cada módulo. Este sensor se lo ubicó en un alambre, empotrado en las paredes de los módulos, dispuesto para el efecto. Las características descritas en este párrafo se observan en la Figura 3.

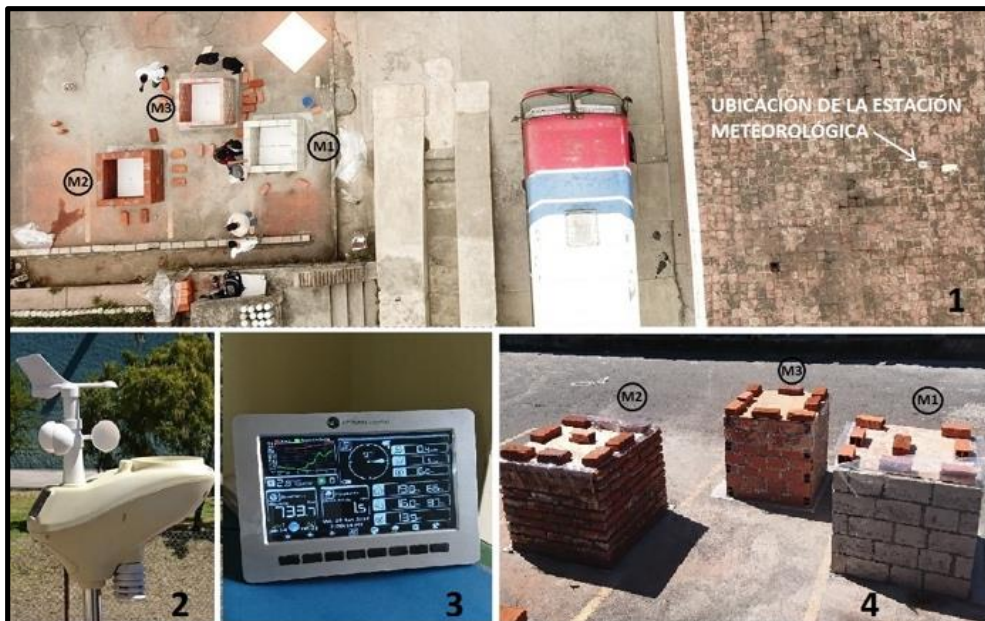


**Figura 3.** 1) Ubicación del sensor térmico en las estructuras estudiadas (Todas las unidades en metros). 2) Sensor térmico HOBO **Fuente:** Elaboración Propia

Los cubos fueron construidos a la intemperie, por lo cual se instaló una estación meteorológica para medir los parámetros ambientales mencionados.

Esta estación fue ubicada sobre el techo de una instalación del Laboratorio de Ensayo de Materiales, que se encuentra a 3 metros de altura sobre el nivel del parqueadero y a una distancia de 13 metros (aproximadamente) de los módulos experimentales que se levantaron sobre el piso (Figura 4.1). Esta ubicación se determinó en función de que otras edificaciones no interfirieran en la toma de datos (Tabla 3).

La estación meteorológica WS-1200, se colocó con dirección norte (Figura 4.2), y el registrador de datos de la misma, dentro del edificio del laboratorio (Figura 4.3). El tiempo de monitoreo establecido fue de 7 días efectivos, con medidas cada 5 minutos para determinar los valores de los parámetros ambientales máximos y mínimos y obtener luego un promedio (Tabla 3). Para establecer el nivel de aislamiento térmico que presentan los mampuestos en las estructuras en estudio (Figura 4.4), se obtuvieron los valores de temperatura exterior durante 7 días (Figura 6), y luego se promediaron (Figura 7) para compararlos con las temperaturas internas promedio de los módulos.



**Figura 4.** 1) Vista de los tres módulos experimentales y ubicación de estación meteorológica in situ 2) Estación Meteorológica 3) Registrador de datos de la estación meteorológica 4) Vista de los tres módulos experimentales.

**Fuente:** Elaboración Propia

Las mediciones de temperatura realizadas por los sensores térmicos, en el interior de los cubos (módulos experimentales), presentaron valores distintivos de acuerdo a cada material (Figura 8). Estos datos fueron tomados durante 7 días cada 5 minutos, y se tabularon de tal forma que se obtuvo un promedio para cada hora en un ciclo de 24 horas. (Figura 9).



Con el fin de comparar resultados se utilizó otro método para medir la capacidad aislante de los mampuestos, en donde se realizaron varias medidas de temperatura superficial, con la cámara termo gráfica marca Flir (Figura 5.1), tanto en la cara exterior como en la cara interior de un mismo mampuesto ubicado al centro de cada pared, sur- este (SE), que conforman los respectivos módulos en estudio (Figura 5.2, 5.3, 5.4). Las mediciones se realizaron en el día 5, a las 8 de la mañana, debido a que se presentó semi nublado, lo cual favorece para obtener resultados no distorsionados, con el mencionado equipo.



**Figura 5.** 1) Cámara termo gráfica, para mediciones realizadas a nivel superficial en módulos experimentales: 2) Bloque de hormigón hueco, 3) Ladrillo artesanal, 4) Ladrillo industrial

Fuente: Elaboración Propia

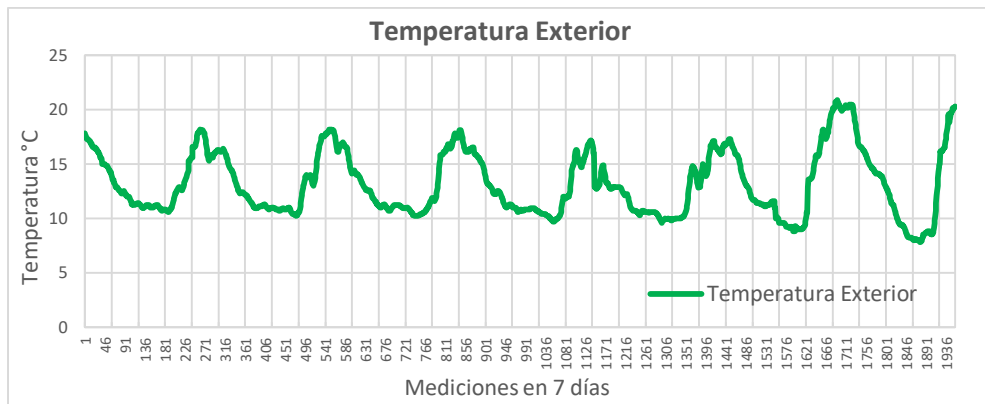
#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se muestran los valores promediados de los factores ambientales atmosféricos que intervinieron en el área de estudio, durante la realización del experimento. Para la obtención de estos datos se utilizó la estación Meteorológica WS-1200 y el programa Lakes Environmental 2018. (Lakes Environmental, s.f.)

**Tabla 3.** Datos meteorológicos promedio en 7 días

DATOS METEOROLOGICOS PROMEDIOS EN 7 DIAS					
Temperatura Exterior (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación Solar (W/m <sup>2</sup> )	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Presión Atmosférica Relativa (hpa)
14,05	77	26,56	0,05	48° SO	1027,6

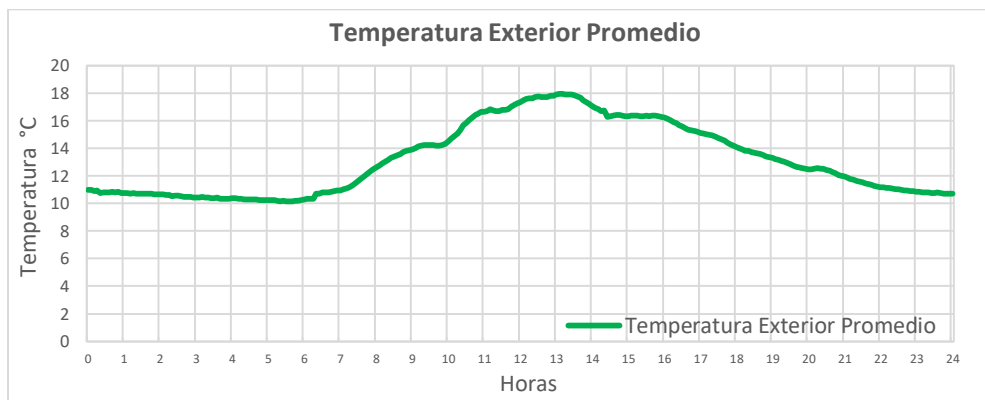
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.** Temperatura exterior durante los días de estudio

**Fuente:** Elaboración Propia

En la Figura 6, se observa los ciclos que representan la amplitud térmica del ambiente exterior durante cada día del estudio. Dentro de éstos, dos son representativos, el que presenta menor amplitud térmica ( $7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) entre las mediciones número 1057 a 1297, que corresponde la fecha 29/06/2018, y el de mayor amplitud térmica ( $13.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) entre las mediciones 1585 y 1873, (01/07/2018).



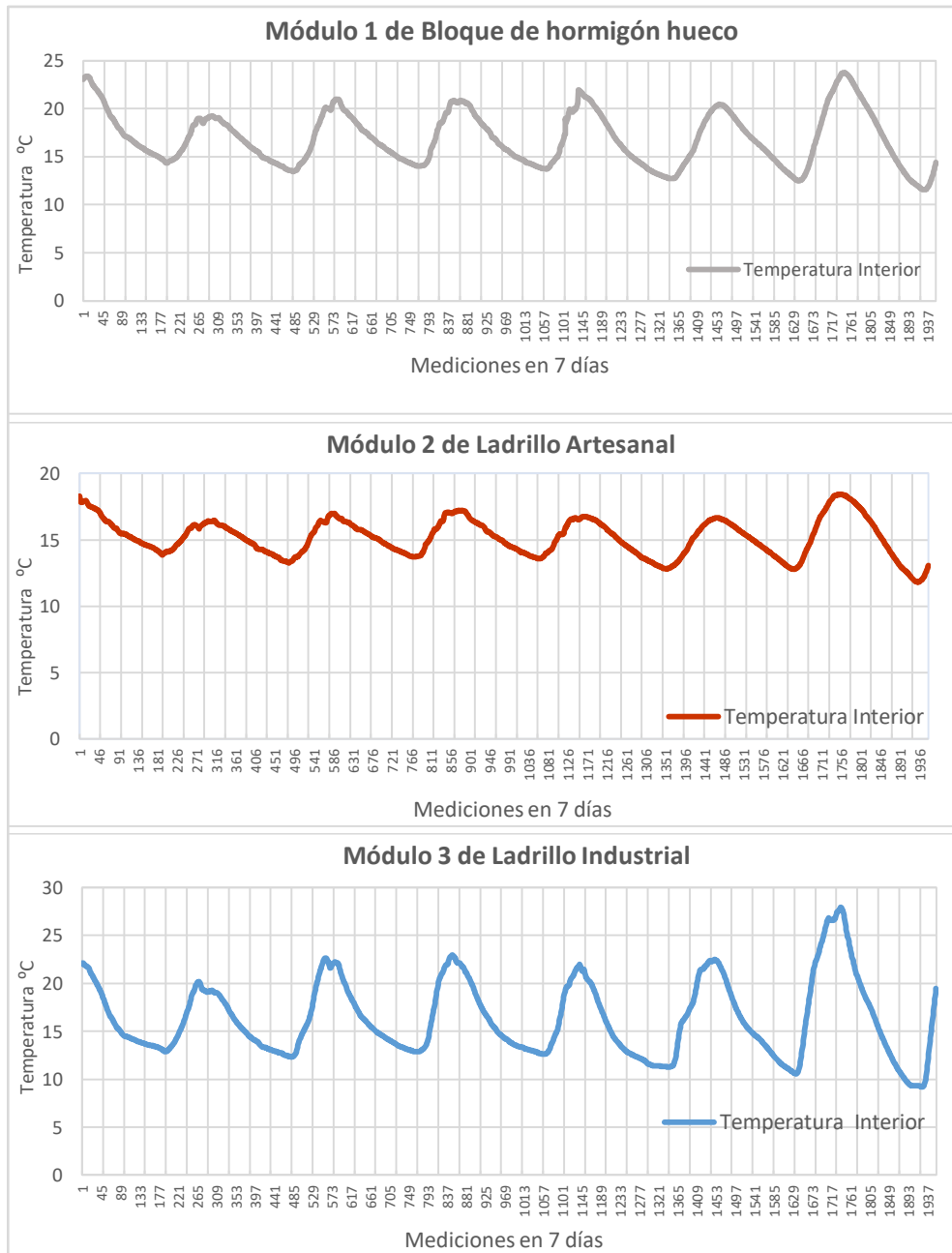
**Figura 7.** Temperatura exterior promediada

**Fuente:** Elaboración Propia

En la Figura 7, se observa los datos de temperatura exterior tomados durante 7 días cada 5 minutos, los cuales fueron tabulados para obtener un promedio para cada hora en un ciclo de 24 horas, evidenciándose así que la amplitud térmica exterior promedio es de  $7.79\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

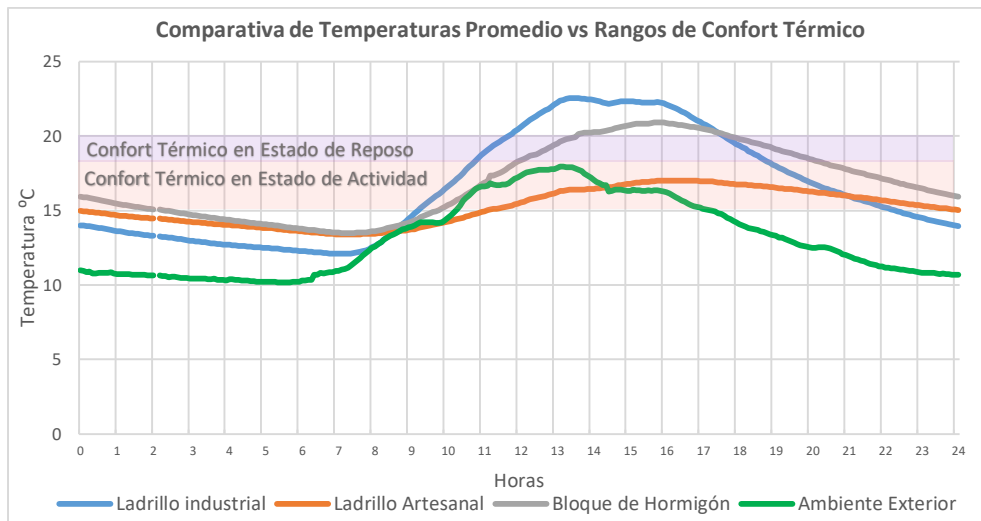
Las mediciones realizadas por los sensores térmicos, en el interior de los módulos experimentales durante 7 días muestran (Figura 8), que la amplitud térmica interior máxima de: Módulo 1 (Bloque de hormigón hueco) es de  $12.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Módulo 2 (Ladrillo mamborrón) es de  $6.54\text{ }^{\circ}\text{C}$  y Módulo 3 (Ladrillo industrial)  $18.26\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Para realizar el análisis de los datos obtenidos se utilizó el programa Hoboware. (Hoboware, s. f.)



**Figura 8:** Graficas de comportamiento térmico en el ambiente interior de los módulos experimentales. (1 Bloque hormigón hueco, 2 Ladrillo artesanal, 3 Ladrillo Industrial)

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 9:** Gráfica comparativa de diferenciales de temperatura (ambiente externo vs ambientes internos de cada módulo experimental) promediados, de 7 días por cada hora.

**Fuente:** Elaboración Propia

La Figura 9, muestra la comparativa del comportamiento térmico de los módulos experimentales respecto al ambiente exterior. Se observa que todas las curvas son de forma similar.

Entre las 0 y 8 horas de la mañana, mientras la temperatura exterior es la más baja ( $10.96^{\circ}\text{C}$ ), la temperatura ambiental interna de todos los módulos es superior, en al menos  $3^{\circ}\text{C}$ , siendo la temperatura interior del Módulo M1 (Bloque de hormigón) la más alta ( $15.89^{\circ}\text{C}$ ). Las temperaturas internas de todos los módulos y la ambiental exterior, se igualan en un valor aproximado de  $13.5^{\circ}\text{C}$ , a las 8H45. A partir de aquí la temperatura interior de los Módulos M3 y M1 supera a la exterior siempre, mientras que la del Módulo M2 lo hace a partir de las 14H20 (Figura 9).

A partir de las 8H:45 hasta las 11H00 se alcanza temperatura de confort para estado de reposo, solo en el módulo M3 (Ladrillo industrial) manteniendo esta condición hasta las 11H45, donde empieza a superar los  $20^{\circ}\text{C}$ , estando muy por encima del rango de temperatura de confort para estado de actividad, continuando así hasta las 17H45. Desde esta hora hasta las 19H00 entra la temperatura interior de este módulo (M3) en el rango de confort para estado de reposo. Y desde las 19H00 hasta las 24H00 queda fuera (Figura 9). Sin embargo, como indica la Tabla 4 no alcanzan a la temperatura de confort térmico para estado de reposo (18 a  $20^{\circ}\text{C}$ ).

La temperatura interna del Módulo M2 (L. Artesanal), solo alcanza los rangos de temperatura de confort para estado de actividad a partir de las 11H30

hasta las 24H00. Sin entrar durante estas horas en el rango de temperaturas de confort para estado de reposo (Figura 9).

Mientras que el Módulo M1 (Bloque hueco de Hormigón) la temperatura interior entra en los rangos de temperatura de confort para estado de reposo desde las 12H00 hasta las 20H45. Y para el rango de temperaturas de confort para estado de actividad desde las 10H00 hasta las 12H00 y desde las 20H30 hasta las 24H00 (Figura 9).

**Tabla 4.** Diferenciales de temperatura (ambiente externo vs ambientes internos de cada módulo) promediados, de 7 días por cada hora.

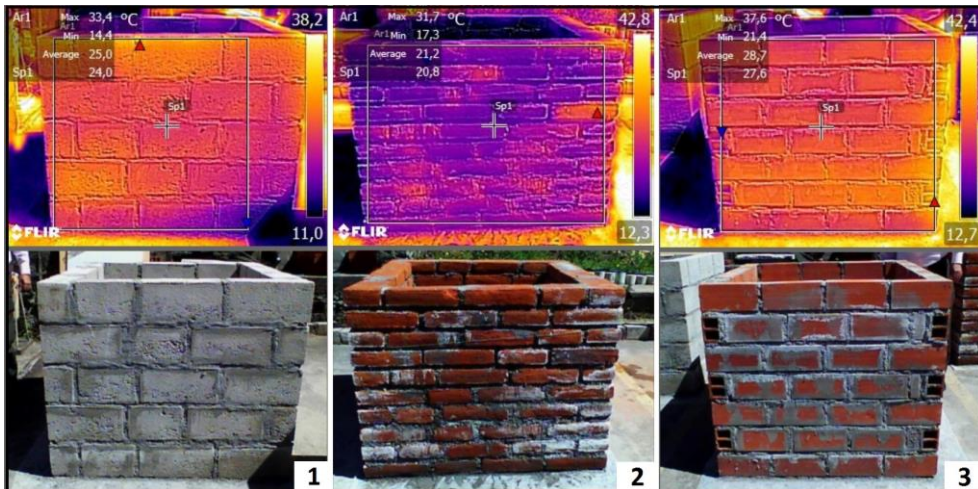
Ambientes	Espesor de las paredes en cm.	Variación de temperaturas en °C			Temperatura más confortable para el ser humano en °C	
		Máxima	Mínima	Amplitud Térmica	Estado de Reposo	Estado de Actividad
Exterior		17,96	10,16	7,8	18 a 20	15 a 18
Interior M1. (B. Hormigón)	15	20,93	13,48	7,45		
Interior M2. (L. Artesanal)	17	17,02	13,38	3,64		
Interior M3. (L. Industrial)	13	22,56	12,08	10,48		

**Fuente:** Elaboración Propia

Con fines de análisis, la Tabla 4 muestra las temperaturas promedio del ambiente interno de los diferentes módulos experimentales y la comparativa (Amplitud Térmica) con la temperatura ambiental exterior. Además se muestra el espesor de las paredes de la envolvente horizontal de los módulos y los rangos de temperaturas más confortables para el ser humano (Vivienda saludable, n. d.).

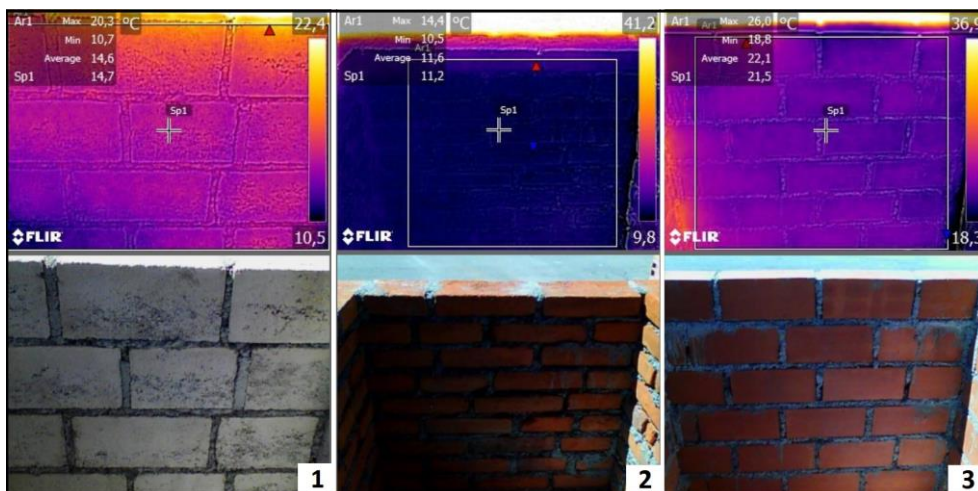
Como se evidencia en la Tabla 4, ninguno de los materiales utilizados para realizar los módulos, mantiene un rango de temperatura interna que este dentro de los establecidos para estado de reposo y estado de actividad, independientemente del grosor de las paredes. Así también se observa que el Módulo con ladrillo industrial (M3) tiene la mayor amplitud térmica (10.40 °C) y la menor el Módulo M2 (L. Artesanal), mientras que el módulo M1 tiene una amplitud térmica similar a la exterior. Lo que significaría que es el material que presta menores condiciones de aislamiento. Así también, el ambiente interno del módulo realizado con ladrillo artesanal (M2) presenta el menor amplitud de temperatura (3.64 °C). Todos los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4.

Los datos recopilados con la Cámara termo gráfica, se analizaron con el programa Flir Tools. (FLIR Systems, s.f.). Obteniendo imágenes cromáticas de la pared SE de cada módulo experimental. En éstas se usó la gama de colores denominada “Hierro”, la misma que consiste en representar con color los diferentes valores de temperatura superficial que van desde el color amarillo intenso como su valor máximo (mayor temperatura) y descendiendo progresivamente mientras se acerca al color azul violeta oscuro en su valor mínimo (menor temperatura) Figura 10 y 11



**Figura 10:** Termografías de superficies externas con orientación SE de los cubos.

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 11:** Termografías de superficies internas con orientación SE de los cubos

**Fuente:** Elaboración Propia

Los resultados conseguidos con este procedimiento en las áreas analizadas de cada módulo se muestran en las Tabla 5.

**Tabla 5.** Temperaturas superficiales de las caras interna y externa del muro sur-este (SE) de cada uno de los Módulos Experimentales (Hora de la toma de datos 8 am).

Superficies	Bloque Hueco (M1)	Ladrillo Artesana (M2)	Ladrillo Industrial (M3)
Exterior °C	25	21,2	28,7
Interior °C	14,6	11,6	22,1
Diferencial Térmico °C	10,4	9,6	6,6

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se evidencia en la Tabla 5, el Bloque Hueco tiene mayor diferencial térmico a nivel de caras superficiales, que los otros mampuestos estudiados, lo que significa que tuvo mayor capacidad de aislamiento térmico a la hora (8 AM) en que se realizó la medición con la Cámara termo gráfica. Esto tiene concordancia con lo que se indica en la Figura 8, en donde a la hora señalada, el módulo construido con bloque hueco de hormigón (M1) conserva una mayor temperatura interior con respecto a la temperatura del ambiente exterior, con un diferencial de 1.74 °C. Mientras que los módulos realizados con el ladrillo artesanal M2 y el ladrillo industrial M3 de en menores diferenciales: 1.54 °C y 0.52 °C, respectivamente. Con esto se ratifica que existe una relación directa entre los materiales que conforman los muros de mampuestos con respecto a la capacidad de aislamiento térmico y transferencia de calor del ambiente exterior al interior y viceversa (Zepeda J, 2001), (Evans, 2005), en condiciones de intemperie en la ciudad de Quito que presenta un grado elevado de radiación solar directa por su posición geográfica.

## 5. RECOMENDACIONES

Para la obtención de valores comparables de resistencia y transmitancia térmica se recomienda ensayar mampuestos de características similares a los utilizados en la construcción de los módulos experimentales, siguiendo lo descrito en la Norma ASTM D5344 (Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure) (ASTM, 2017).

Para lo cual se requiere de un laboratorio que cuente con el siguiente instrumental:

- Aguja térmica con sensores incorporados.
- Calibrador.
- Termómetros ambientales.
- Cronómetros.

- Taladro.

## 6. CONCLUSIONES

Con iguales condiciones de exposición a la intemperie, la evaluación térmica de los módulos experimentales realizados con diferentes mampuestos, mostró lo siguiente:

- La temperatura interior del módulo experimental, realizado con bloque de hormigón hueco (M1), queda fuera de rango de temperaturas, de confort para el ser humano, tanto en actividad como en reposo durante 10 de 24 horas.
- La temperatura interior del módulo experimental, realizado con el ladrillo artesanal (M2) queda fuera de rango de temperaturas de confort para el ser humano, tanto en actividad como en reposo, durante 11 de 24 horas.
- La temperatura interior del módulo experimental, realizado con el ladrillo industrial (M3) queda fuera de rango de temperaturas de confort para el ser humano, tanto en actividad como en reposo, durante 15 de 24 horas.
- La temperatura interior del módulo experimental, realizado con bloque de hormigón hueco (M1), cumple con los rangos de confort térmico para estado de reposo por un lapso no continuo de 4 horas de un total de 24. Y para los rangos de confort térmico, para estado de actividad, cumple por un lapso interrumpido que suma 10 horas.
- La temperatura interior del módulo experimental, realizado con el ladrillo artesanal (M2), no alcanza en ningún instante las temperaturas de confort para estado de reposo. Alcanza 13 horas de 24, temperaturas que están dentro del rango de confort térmico para el estado de actividad del ser humano.
- La temperatura interior del módulo experimental, realizado con el ladrillo industrial (M3) queda dentro de rango de temperaturas de confort para el ser humano en reposo, durante un rango no continuo de 2 horas. En cuanto a las temperaturas de confort para el ser humano en estado de actividad, se alcanza durante un rango no continuo de 7 horas.
- El Bloque Hueco de hormigón tiene mayor diferencial térmico a nivel de caras superficiales, que los otros mampuestos estudiados, lo que significa que tuvo mayor capacidad de aislamiento térmico a la hora (8 AM) en que se realizó la medición con la Cámara termo gráfica.

De todo lo expuesto se puede concluir que el material que presentó mejores condiciones de aislamiento térmico es el bloque hueco de hormigón, así también la temperatura interna del módulo realizado con éste mampuesto es la que comparativamente se mantuvo mayor número de horas dentro de los rangos de confort térmico para estado de reposo y actividad del ser humano.

En los mismos términos el ladrillo industrial, se desempeñó mejor que el ladrillo artesanal. Ya que la temperatura interior del módulo realizado con este material



alcanzó los rangos de confort térmico, en actividad y reposo; mientras que la temperatura interna del módulo de ladrillo artesanal solo alcanzó la temperatura de confort térmico para el estado de actividad.

- Si bien el bloque de hormigón hueco se presenta como el material con mejores características de comportamiento térmico, sin embargo, según se muestra en este estudio, la temperatura interior del módulo experimental realizado con este material permanece 10 horas de un total de 24 (42% del tiempo que corresponde a un día) fuera de los rangos de temperatura de confort térmico para los estados de actividad y reposo del ser humano.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM. (2017). Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure. ASTM.
2. Ballén, S. (2014). Materiales Reciclados y su Eficiencia Energética en Fachadas Verticales en Bogotá. *Ekotectura*, 19–23. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/301867264\\_MATERIALES\\_RECICLADOS\\_Y\\_SU\\_EFICIENCIA\\_ENERGETICA\\_EN\\_FACHADAS\\_VERTICALES\\_EN\\_BOGOTA](https://www.researchgate.net/publication/301867264_MATERIALES_RECICLADOS_Y_SU_EFICIENCIA_ENERGETICA_EN_FACHADAS_VERTICALES_EN_BOGOTA)
3. Bloqueras.org. (s.f.). Recuperado el 15 de Julio de 2018, de Bloques de Concreto: <https://bloqueras.org/bloques-concreto/>
4. Construmatica.com. (s.f.). Recuperado el 15 de Julio de 2018, de [https://www.construmatica.com/construpedia/Bloque\\_de\\_Hormigón](https://www.construmatica.com/construpedia/Bloque_de_Hormigón)
5. Cuitiño, G. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de Quincha. *Informes de la construcción*, 7. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4025/4586>
6. Clima en el mundo. (s.f.). Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <http://www.climaenelmundo.com/ecuador/clima-quito-251>
7. Gomez, A. (2018). "Sol y Arquitectura". Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/1118>
8. Guerrero G., G., & Espinel B., E. y. (2017). Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos y sus propiedades finales. *Revista Tecnura*, 118-131. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/11970/12823>
9. Esteves, A. (2004). "Muros de botella descartables de Pet para viviendas con conservación de energía y alta inercia térmica interior". *Revista de la Universidad de Mendoza*. Obtenido de <http://www.um.edu.ar/ojs-new/index.php/RUM/article/view/20/39>
10. Evans, J. &. (2005). Rol de la Envolvente en la Edificación Sustentable. *Informes de la construcción*, Pontificia Universidad Católica de Chile, 5-12. Obtenido de <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/11354/000389217.pdf?sequence=1>

11. Castillo, J. (31 de Agosto de 2016). Chimenea Solar: Ventilación natural para Climas Cálidos. Diario el telégrafo. Recuperado el 22 de Julio de 2018, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/408/1/chimenea-solar-ventilacion-natural-para-climas-calidos>
12. FLIR Systems, I. (s.f.). Flir Tools. Obtenido de <https://www.flir.com/products/flir-tools/>
13. Hoboware. (s.f.). Obtenido de <http://www.onsetcomp.com/hoboware-free-download>
14. ITC, F. (2011). Guía sobre termografía para aplicaciones en edificios y energía renovable. Obtenido de [http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325\\_ES.pdf](http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_ES.pdf)
15. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (1997). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 293 - Ladrillos Cerámicos: Definiciones. Clasificación y Condiciones Generales.
16. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2014). Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria INEN 638- Bloques Huecos de Hormigón: Definiciones, Clasificación y Condiciones Generales.
17. Laboratorio de investigaciones de física térmica de construcción. (2012). Obtenido de Protocolo de pruebas N° 064 ssf/12 U. determinación del coeficiente de transmitancia de paja trenzada entidad nacional Lituana de acreditación: <http://www.ecococon.lt/spanish/paneles-de-paja/propiedades-de-los-paneles-de-paja/transmitancia-termica-de-paja-prensada/>
18. Lakes Environmental. (s.f.). Obtenido de <https://www.weblakes.com/products/wrplot/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
19. Pérez B, C. E. (2010). Estudio Numérico de la resistencia térmica en muros de bloques de concreto hueco con aislamiento térmico. Universidad de Sonora, Hermosillo, México. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v22n3/art05.pdf>
20. Pérez B, C. E. (2018). Modelación y simulación de la transferencia de calor en muros de bloque de concreto. Universidad de Sonora, Hermosillo, México. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v21n3/art04.pdf>
21. Páez. (2018). Determinación de la carga permanente debida al peso de la mampostería de bloque en edificaciones de vivienda. Recuperado el 16 de Julio de 2018, de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6390/9.20.000010.pdf?sequence=4>
22. Quispe Gamboa, C. (2016). Análisis de la Energía Incorporada y Emisiones de CO2 Aplicado a Viviendas Unifamiliares de Eficiencia Energética. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
23. Menéndez, A. (2017). Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas. Latacunga, Ecuador. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=yoS7DgAAQBAJ&pg=PA129&lpg=PA129&dq=kwh/Kg+paja&source=bl&ots=BmFJfOxlE&sig=yrSviXq7rgRH2OfDWkRDWDW1b1Q&hl=es->

- 419&sa=X&ved=0ahUKEwj6sNbTnsPbAhXO61MKHcULBiUQ6AEIajAH#v=onepage&q=kwh%2FKg%20paja&f=false
24. Molina, H. (2013). Evolution of Thermal Behavior in Stone and Thatched Roof Traditional Houses. Enhancement of a Sustainable Model in Northwens Spain. *Revista de la Construcción* vol.12 N° 2, 6. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2013000200008&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2013000200008&script=sci_arttext)
  25. Sierra, J. D. (2014). Análisis comparativo entre bloques de concreto tradicional y bloques de concreto alivianado con poli estireno. Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2260/1/T-UIDE-1275.pdf>
  26. Vázquez, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros materiales. *Informes de la construcción*, 34. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/681/765>
  27. Vivienda saludable. (s.f.). Recuperado el 16 de Julio de 2018, de <https://www.viviendasaludable.es/confort-bienestar/climatizacion/cual-es-la-mejor-temperatura-ambiente>,
  28. Volantín V, B. P. (2007). Eficiencia energética en construcciones. Obtenido de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2007/2007-t008-a017.pdf>
  29. Zepeda J, A. S. (2001). Comportamiento ante cargas laterales de muros de ladrillo de arcilla perforado y multiperforado. Obtenido de <http://proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/363/1/imagenes/caclmlapm.pdf>