

**DESARROLLO DE UNIDAD CONSTRUCTIVA CERÁMICA
TERMOAISLANTE PARA ENVOLVENTES DE MAMPOSTERÍA EN CLIMAS
CÁLIDOS TROPICALES**

**DEVELOPMENT OF A THERMALLY INSULATING CERAMIC
CONSTRUCTION UNIT FOR MASONRY ENVELOPES IN HOT TROPICAL
CLIMATES**

MSc. Marlyn Stephanny Narváez Ortega ^{*ID}, MSc. Jessica Viviana Sánchez
Zúñiga ^{**ID}, PhD. Jorge Sánchez Molina ^{***ID}.

* **Universidad Francisco de Paula Santander,**
Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica.
Avenida Gran Colombia No. 12E-96, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.
(607) 5776655

E-mail: *stephannynarvaezortega@outlook.com,

orcid 0000-0003-2189-3066

**jessicavivianas@ufps.edu.co,

orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7831-127X>

***jorgesm@ufps.edu.co;

orcid: 0000-0002-9080-8526;

Resumen: La presente investigación desarrolla un nuevo producto cerámico constructivo con principios termoaislantes, integrando características en la forma interna y externa de la pieza que buscan mitigar la transmitancia térmica del sistema de envolvente de forma pasiva, el diseño asume un modelo que utiliza la dimensión de espesor para generar resistencia térmica en el prototipo, así mismo, crea tabiques internos con geometrías disipadoras que evitan puentes térmicos directos y genera una función de cámaras ventiladas en la primera capa de la pieza para contener y disipar la energía. Para estudiar su eficiencia térmica se implementa método dinámico en simulaciones de distribución de temperatura y flujo de calor bajo condiciones de clima cálido tropical determinando perfiles de temperatura entre la superficie inicial y final de la muestra. Este proceso proyectual permite generar un modelo para fachada cerámica termo-eficiente que reduce 7°C en promedio la energía transferida a través de la mampostería arquitectónica.

Palabras clave: Cerámica, Diseño, Aislamiento térmico.

Abstract: The present research develops a new constructive ceramic product with thermo-insulating principles, integrating characteristics in the internal and external shape of the piece that seek to mitigate the thermal transmittance of the envelope system passively, the design assumes a model that uses the thickness dimension to generate thermal resistance in the prototype, likewise, it creates internal partitions with dissipative geometries that avoid direct thermal bridges and generates a function of ventilated chambers in the first layer of the piece to contain and dissipate the energy. In order to study its thermal efficiency, a dynamic method is implemented in simulations of temperature distribution and heat flow under hot tropical climate conditions, determining temperature profiles between the initial and final surface of the sample. This design process allows

generating a model for a thermo-efficient ceramic facade that reduces the energy transferred through the architectural masonry by 7°C on average.

Keywords: Ceramics, Design, Thermal insulation.

1. INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva sostenible, los nuevos procesos de desarrollo tecnológico de productos para la construcción deben contener un componente de diseño que se responsabilice de los problemas de consumo energético que enfrentan las edificaciones, especialmente las piezas que componen la envolvente como responsables de los flujos de energía entre el exterior y el interior de los cerramientos; en climas cálidos tropicales de alta radiación solar, el principal desafío consistirá en la implementación de estrategias de aislamiento térmico para evitar o contener la transferencia de calor al interior del espacio construido, reduciendo la energía no deseada para que no deba disiparse con mecanismos activos de refrigeración.

En el proceso del ejercicio arquitectónico la eficiencia energética se traduce como la generación de prácticas proyectuales y constructivas responsables en términos de sostenibilidad, con respuestas que interpreten las condiciones del ambiente exterior para aplicar diversos recursos técnicos y tecnológicos en función de minimizar los impactos sobre el medio ambiente. Observando que la refrigeración mecanizada representa el 15% del consumo mundial de electricidad (Samani, 2016) desde el marco científico una de las discusiones más significativas es la implementación de tecnologías pasivas para el acondicionamiento térmico (Santamouris, 2016), descritas como aquellas técnicas y tecnologías que no utilizan sistemas mecánicos (Yao, 2018) y que representan una de las herramientas más efectivas en el desarrollo sostenible debido a la influencia comprobada que ejercen sobre los rendimientos energéticos reduciendo hasta un tercio los requerimientos activos en la construcción (Hiyama, 2015).

En el caso de los sistemas pasivos de enfriamiento para envolventes en climas cálidos, la literatura se enfoca en la prevención, el control y la disipación de las ganancias de calor, desde parámetros de termorresistencia (Mirrahimi, 2016) aplicando principios como: la generación de formas disipadoras, la interrupción de puentes térmicos (Narváez, 2020), el uso de acabados claros, reflectantes (Sarabia A., 2017) y con porosidad

como materiales cerámicos (Sánchez J., 2018), la minimización de la radiación directa con factor de sombra y el flujo de aire controlado sobre aberturas para la disipación de calor a partir del aprovechamiento de los vientos predominantes (Pacheco, 2012) como métodos iniciales para conseguir un balance en los flujos energéticos, protegiendo el espacio interior de las condiciones adversas del clima para proveer condiciones de confort (Halawa E., 2018).

En este sentido, las piezas que conforman los sistemas de cerramiento deben considerar estrategias de enfriamiento pasivo desde la forma, el sombreado y la disipación de energía por ventilación natural como herramientas fundamentales para otorgar a la envolvente propiedades para reducir la transferencia de calor a través de la optimización de sus componentes; estas estrategias representan una vía para la solución de los retos en materia de cambio climático, con el creciente aumento en las temperaturas atmosféricas y el efecto de incremento de consumo de energía eléctrica especialmente en climas tropicales cálidos.

Este trabajo estudia los resultados de aplicar criterios de diseño eficientes en sistemas constructivos para cerramientos de mampostería como un enfoque asertivo desde la perspectiva de la sostenibilidad, contemplando propiedades de aislamiento térmico a través de la forma, el espesor, la disposición constructiva y las propiedades físicas de los materiales, con un enfoque en productos cerámicos vernáculos; implementando efectos de ventilación natural y geometrías disipadoras para reducir los porcentajes de absorción y transferencia de calor al espacio interior, con el fin de proveer condiciones de confort con el mínimo impacto medioambiental; añadiendo valor a la expresión estética tradicional, con un producto industrializable, viable desde su forma estructural, su funcionamiento dentro del sistema constructivo y conservando un bajo costo para una mayor adaptabilidad al mercado.

1.1. Productos cerámicos

La mayor proporción de productos fabricados por las empresas arcilleras corresponden a diferentes

tipologías piezas constructivas para mampostería, de los cuales un 19% corresponden a ladrillos cerámicos y un 15% a bloques de arcilla roja cocida (Sánchez, 2013), piezas que poseen un bajo costo de producción, que presentan dimensiones adaptables y formatos que son funcionales en disímiles construcciones arquitectónicas, usadas principalmente en cerramientos exteriores y divisiones interiores, son fabricadas en distintas escalas cromáticas y texturas, cuyas características trabajan perfectamente en sistemas constructivos de mampostería para obras civiles. En la figura 1 se grafican las tipologías de ladrillos y bloques producidos tradicionalmente por la industria de la cerámica local, en la tabla 1 se referencian las características físicas de cada una de las muestras.

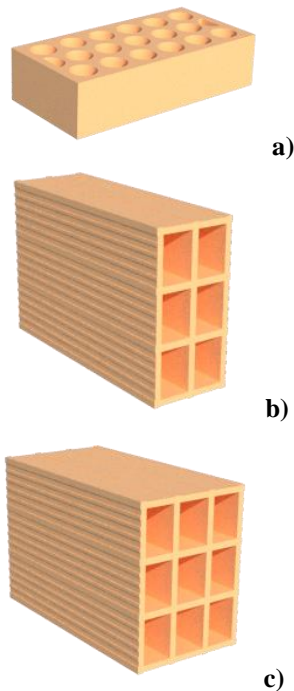


Fig. 1. Tipologías de piezas cerámicas (a) Ladrillo Multiperforado (b) Bloque H10 (c) Bloque H15.

Tabla 1. Caracterización de las diferentes tipologías de piezas cerámicas.

Producto	Dimensión	Peso	Rendimiento m ²
Ladrillo Multiperforado	120mm*60mm*240mm	2 kg	56 U
Bloque H10	100mm*200mm*300mm	4kg	16 U
Bloque H15	150mm*200mm*300mm	6kg	16 U

La forma del bloque de arcilla tradicional utilizado en los cerramientos de fachadas se ha caracterizado por ser de forma rectangular, permitiendo que la

totalidad del muro, tablas y juntas, estén expuestos a la radiación solar por largos periodos de tiempo, la radiación es absorbida por el material y acumulada en el cerramiento, para luego ser transferida al interior de la edificación, el calor se transfiere de forma unidireccional por conducción, gracias a que las superficies horizontales que conforman el bloque, los nervios, se convierten en puentes térmicos que llevan con rapidez la temperatura al interior de la edificación.

Desde una perspectiva térmica, en un clima cálido semiárido, dentro de las piezas ofertadas por el mercado local de mampostería de la industria cerámica, se destacan productos tipo bloque como el bloque H10 y el bloque H15 unidades constructivas con excelente comportamiento térmico bajo altas condiciones de radiación solar directa, registrando una transmitancia térmica de 37,91°C (Narváez, 2021) y 34,95 (Narváez, 2019) respectivamente sometido a condiciones de irradiancia solar de 695.4W/m²; así mismo, piezas como el ladrillo multiperforado tradicional han demostrado un comportamiento térmico de 41,70°C en la superficie interior (Colmenares, 2020).

Tabla 2. Comportamiento térmico de las diferentes tipologías de piezas cerámicas.

Producto	Comportamiento Térmico
Ladrillo Multiperforado	41,70°C
Bloque H10	37,91°C
Bloque H15	34,95°C

2. EL DISEÑO DE PRODUCTO CERÁMICO

En la literatura relacionada a envolventes constructivas, se consideran como estrategias pasivas para el desarrollo de productos termoaislantes: el aumento del espesor en las piezas, la disminución de puentes térmicos a través de la complejidad morfológica de los tabiques alargando los recorridos para retardar (Narváez, 2021) o impedir la transferencia de calor (Colmenares, 2019), el aumento en el número de cavidades internas de cada unidad constructiva (Sánchez, 2020), la adición de sistemas de ventilación pasiva en la superficie de mayor incidencia solar para disipar energía (Narváez, 2020) y la exploración formal de la cara externa para controlar los porcentajes de captación de calor (Narváez, 2019).

Basados en el estudio del comportamiento térmico de piezas tradicionales, y considerando principios de resistencia térmica pasiva desde la morfología de

la pieza en la Figura 2 se presenta un diseño que reconoce un mayor número de cavidades internas con cámara de aire, con 15 cavidades, unas formas disipadoras en puentes térmicos formados por 7 paredes que dividen la superficie inicial de la superficie final y 12 tabiques discontinuos, con unas medidas de 300mm de longitud, 130mm de espesor y 200mm de altura, la pieza segmentan el mortero su disposición horizontal y vertical evitando el puente térmico. El modelo presenta un peso de 5,5kg y un rendimiento de 15 unidades por m².

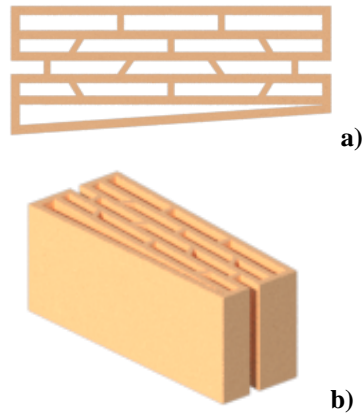


Fig. 2. Diseño Unidad Constructiva: (a) Planta (b) Isometría.

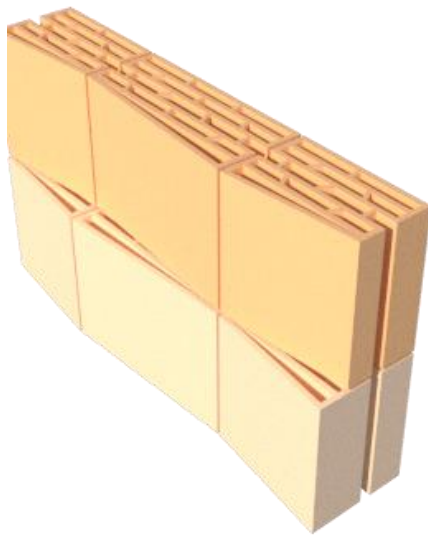


Fig. 3. Sistema constructivo.

3. MÉTODO DE EVALUACIÓN TÉRMICA

En el desarrollo de la investigación esta fase se enfoca en la validación de los diseños a partir de pruebas en formato digital, se utiliza método de elementos finitos para desarrollar simulaciones

térmicas en software ANSYS R16, implementando parámetros propios de clima de ciudad de Cúcuta para establecer el comportamiento térmico por transferencia de calor de las piezas en condiciones de 33°C como temperatura máxima promedio, determinando la distribución de temperatura y los flujos de calor relacionados a la forma y dimensión de las piezas.

Los datos medioambientales utilizados se toman del (IDEAM, 2020) para una localización geográfica de latitud: 7.9°N, longitud: 72.5°W, altitud: 298msnm en Cúcuta, tomando como punto de referencia para la temporalidad el mes de septiembre como el periodo que presenta las temperaturas más elevadas a lo largo del año, considerando variables del clima máximas promedio de las 12:00 horas a las 13:00 horas de un día tipo, donde, un flujo del viento presenta una velocidad de 4 m/s y una irradiancia solar máxima promedio de 796,8 W/ m².

Los datos utilizados de la conductividad de los materiales:

$$^k \text{ Arcilla} = 0,407 \text{ W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$^k \text{ Mortero} = 0,88 \text{ W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

Con relación a los datos calculados, el coeficiente de transferencia de calor por convección es el valor que depende de la velocidad del viento y las condiciones de temperatura y presión en las que se encuentra:

$$h = Nu \cdot k \text{ Lch} = Nu \cdot k \text{ Lc Ecuación (1)}$$

h: Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Nu: Número de Nusselt.

k: Conductividad térmica del aire.

Lc: Longitud característica asumida de 20 cm.

El número de Nusselt es un valor adimensional que describe el aumento en la transferencia de calor sobre una superficie. Para sección transversal rectangular y flujo cruzado, es:

$$Nu = 0,102 Re^{0,675} * Pr^{1/3} \text{ Ecuación (2)}$$

Re: Número de Reynolds.

Pr: Número de Prandtl.

El número de Reynolds es un valor adimensional que describe el comportamiento del flujo de aire sobre la superficie del bloque:

$$Re = \rho * V * Lc \quad \mu Re = \rho * V * Lc \quad \mu \text{ Ecuación (3)}$$

ρ: Densidad del aire.

V: Velocidad del viento.

μ: Viscosidad dinámica del aire.

A continuación, se describen las propiedades del aire para una temperatura de 33°C.

$$\rho = 1,1526 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$k = 0,026102 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{°C}$$

$$\mu = 0,000018858 \text{ Kg} / \text{m} \cdot \text{s}$$

$$Pr = 0,72736$$

Reemplazando los valores en orden de las ecuaciones (3), (2) y (1), se obtiene como resultado un coeficiente de transferencia de calor por convección de $h = 17,5154 \text{ W} / \text{m}^2\text{°C}$ que se aplicará a la sección exterior de la geometría, donde tiene efecto la velocidad del viento, y asume una transferencia de calor por una convección natural de $5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$ y un flujo de calor de $796.8 \text{ W} / \text{m}^2$. Para las superficies que no están encerradas como cámaras de aire internas se asume un coeficiente de transferencia de calor por convección natural de $h = 5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$. Para llevar a cabo la simulación computacional se usó una densidad de malla de 1.085.812 nodos, tal como se muestra en la Figura 4.

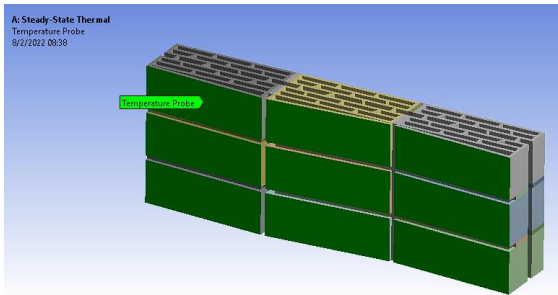


Fig. 4. Malla.

4. RESULTADOS

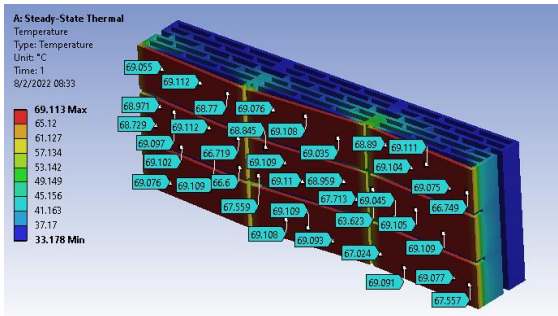


Fig. 5. Resultados de distribución de temperatura superficie exterior.

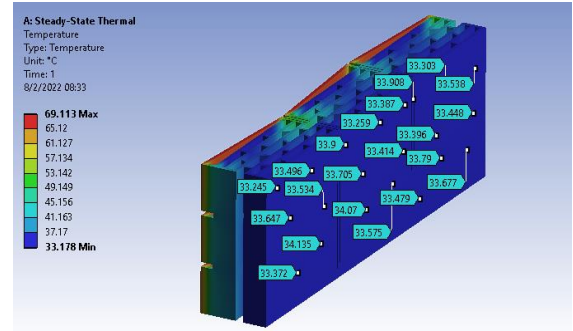


Fig. 6. Resultados de distribución de temperatura superficie interior.

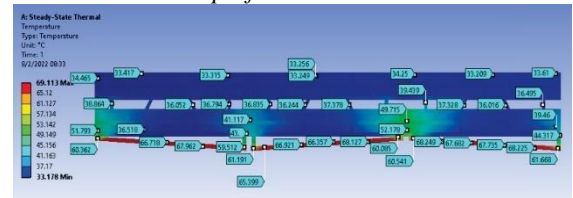


Fig. 7. Resultados de distribución de temperatura en vista superior.

Tabla 3. Comportamiento térmico de pieza cerámica propuesta.

Producto	Temperatura Inicial máxima	Temperatura Final mínimo
Bloque H13	69,1°C	33,1°C

En la Figura 5 y 6 se observa la distribución tridimensional de la temperatura sobre la superficie frontal y posterior, respectivamente, donde, las temperaturas promedio en la superficie frontal registran $64,7\text{°C}$, y por su parte, la superficie posterior de $33,6\text{°C}$ en promedio. En puentes térmicos formados por tabiques la temperatura inicial es de $60,3\text{°C}$ y la temperatura final es de $34,4\text{°C}$, las uniones del mortero, la temperatura inicial es de $52,1\text{°C}$ y la temperatura final en la superficie interna es de $34,2\text{°C}$.

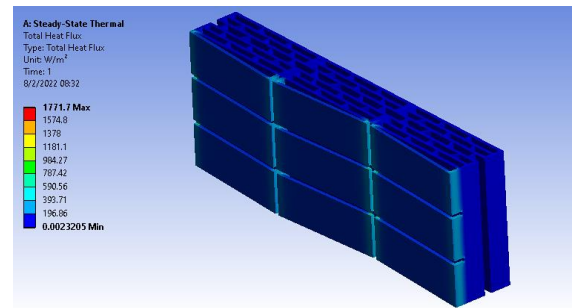


Fig. 8. Resultados de flujo de calor superficie exterior.

Los flujos de calor se concentran en los puentes térmicos formados por las paredes laterales, registrando concentraciones de calor de 491W/m².

4. CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que el producto propuesto presenta una disminución de temperatura de 10,53°C respecto a un producto tipo ladrillo multiperforado, 6,74°C en relación a un bloque H10 y 3,78°C comparado con un bloque H15, debido a que su configuración geométrica o diseño conceptual dispone de una gran zona por donde circula el aire, las cámaras de aire, lo que idealmente se pudiera comportar como una “capa” aislante, debido a la baja conductividad del aire al estar estancado entre la cara frontal y el resto del ladrillo o bloque. Los datos obtenidos demuestran una reducción de temperatura de 20,6%, 12,6% y 5,1% respectivamente a ladrillos, bloques H10 y H15, resultados muy positivos en el mejoramiento del comportamiento térmico de los productos cerámicos para la construcción de envolventes.

RECONOCIMIENTO

Se agradece a los miembros del grupo de investigación en tecnología cerámica GITEC de la Universidad Francisco de Paula Santander por su apoyo en el desarrollo de la presente investigación y su constante trabajo en la generación de nuevo conocimiento en materiales cerámicos.

REFERENCIAS

- Colmenares A., S. J. (2019). Comparative thermal analysis of extruded ceramic products between multi perforated brick and modified bricks in cells distribution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1386, 28-31.
- Colmenares, A. S. (2020). Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio. *Respuestas*, 25, 43-49.
- Halawa E., G. A. (2018). A review on energy conscious designs of building façades in hot and humid climates: Lessons for (and from) Kuala Lumpur and Darwin. *Renewable and sustainable energy reviews*, 57, 1743-1752.
- Hiyama, K. &. (2015). Preliminary design method for naturally ventilated buildings using target air change rate and natural ventilation potential maps in the United States. *Energy*, 89, 655-666.
- IDEAM. (2020). *Informe estacion meteorológica Aeropuerto Camilo Daza*. Bogotá: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.
- Mirrahimi, S. M. (2016). The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1508-1519.
- Narváez M., S. J. (2019). Physical-thermal isolation strategies for the design of sustainable ceramic building units. *Journal of Physics: Conference Series*, 1645, 1-9.
- Narváez M., S. J. (2021). Análisis térmico por método de elementos finitos en nuevos modelos de piezas cerámicas constructivas. *Mundo Fesc*, 11, 1-8.
- Narváez M., S. J. (2021). Analysis of heat fluxes in ceramic block type building pieces. *Journal of Physics: Conference Series*, 2118, 1-8.
- Narváez, M. S. (2019). Comparative evaluation of the physical, mechanical, and thermal properties of traditional H10 and H15 red clay blocks manufactured by the ceramic industry from San José de Cúcuta, Colombia,. *Journal of Physics: Conference series*, 1388, 1-8.
- Narváez, M. S. (2020). Cámaras de aire ventiladas en un producto cerámico tradicional para envolventes de mampostería con enfriamiento pasivo. *Mundo Fesc*, 10, 128-135.
- Narváez, M. S. (2020). Experimentación comparativa de transferencia de calor por puente térmico a partir de la modificación de la geometría de los tabiques en bloque cerámico H10. *Respuestas*, 25, 29-35.
- Pacheco R., O. J. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16, 3559-3573.
- Samani P., L. V. (2016). Comparison of passive cooling techniques in improving thermal comfort of occupants of a pre-fabricated building. *Energy and Buildings*, 120, 30-44.
- Sánchez J., Á. D. (2018). Cisco de Café como posible material sustituto de arcilla en la fabricación de materiales cerámicos de construcción en el área metropolitana de Cúcuta. *Respuestas*, 23, 27-31.

- Sánchez J., R. D. (2013). *El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta (Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander)*. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez J., S. J. (2020). Desarrollo de un producto cerámico de construcción bajo los principios de la arquitectura bioclimática y sostenible. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 30, 29-140.
- Santamouris, M. (2016). Cooling the buildings – past, present and future. *Energy and Buildings*, 128, 617-638.
- Sarabia A., S. J. (2017). Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular. *Respuestas*, 22, 6-16.
- Yao, R. C. (2018). The effect of passive measures on thermal comfort and energy conservation. A case study of the hot summer and cold winter climate in the Yangtze River region. *Journal of Building Engineering*, 15, 298-310.