



*Disminución de temperatura interna de una vivienda de interés social mediante el uso de enfriamiento pasivo*

*Reduce the internal temperature of a social interest house's through the use of passive cooling*

*Diminuição da temperatura interna de uma habitação social através do uso de refrigeração passiva*

Danny Adrián Moreira-Lectong<sup>I</sup>

[dmoreira9528@utm.edu.ec](mailto:dmoreira9528@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8358-7000>

Ramona Albertina Panchana-Cedeño<sup>II</sup>

[ramona.panchana@utm.edu.ec](mailto:ramona.panchana@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-0763-5426>

**Correspondencia:** [dmoreira9528@utm.edu.ec](mailto:dmoreira9528@utm.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de septiembre de 2022 \* **Aceptado:** 18 de octubre de 2022 \* **Publicado:** 21 de noviembre de 2022

- I. Ingeniero Civil, Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil Mención Construcción de Vivienda de Interés Social, Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Gerente de Proyectos de la Constructora de Soluciones Inmobiliarias TEODANMAR C.L. Investigador Independiente, Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- II. Ingeniera Civil Magíster Scientiarum en Energía, Docente Principal Tiempo Completo Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.



## Resumen

Se propone un diseño para el enfriamiento pasivo de una tipología de vivienda de interés social en Manta, Ecuador aprovechando el potencial térmico del suelo y del agua. Se utilizó un enfoque mixto cuantitativo-cualitativo, se consideraron métodos numéricos para cuantificar los valores de disminución de temperatura, se hizo el diseño del sistema de ducto de enfriamiento pasivo y demás parámetros de confort y se empleó un sistema de captación por ventilación pasiva y de ductos de tuberías de PVC enterrados a 3 metros de profundidad, distancia desde el suelo con diferencias de temperatura de hasta 8.7 °C en relación a la temperatura máxima promedio exterior, el caudal de renovación de aire requerido para la vivienda estudiada fue de 76.64 m<sup>3</sup>/hr. Se realizaron los cálculos para una velocidad de 3m/s. Se logran las temperaturas requeridas para mejorar el confort térmico de la vivienda con una longitud teórica de 24m y 100mm de diámetro con el cual se disminuye la temperatura interior de 29 °C a 24 °C. Se logró adaptar el sistema de enfriamiento pasivo diseñado con tubos enterrados a la vivienda de interés social tipología 1 de la urbanización Renacer en Manta con éxito, ya que en el estudio se idealizó que la temperatura del suelo no varía se utilizó la cisterna existente considerando que el agua tiene una capacidad calórica e inercia térmica mayor a la del suelo.

**Palabras clave:** Viviendas Sociales; Enfriamiento Pasivo; Captador; Temperatura; Potencial Térmico.

## Abstract

A design for the passive cooling of a type of low-income housing in Manta, Ecuador is proposed, taking advantage of the thermal potential of the soil and water. A mixed quantitative-qualitative approach was used, numerical methods were considered to quantify the temperature decrease values, the design of the passive cooling duct system and other comfort parameters was made, and a passive ventilation capture system was used. PVC pipe ducts buried 3 meters deep, distance from the ground with temperature differences of up to 8.7 °C in relation to the maximum average outdoor temperature, the air renewal flow required for the studied dwelling was 76.64 m<sup>3</sup>/ hr. Calculations were made for a speed of 3m/s. The temperatures required to improve the thermal comfort of the house are achieved with a theoretical length of 24m and 100mm in diameter with

which the interior temperature is decreased from 29 °C to 24 °C. It was possible to adapt the passive cooling system designed with buried tubes to the social housing type 1 of the Renacer urbanization in Manta successfully, since in the study it was idealized that the soil temperature does not vary, the existing cistern was used considering that Water has a higher heat capacity and thermal inertia than soil.

**Keywords:** Social Housing; Passive Cooling; getter; Temperature; Thermal Potential.

## Resumo

Propõe-se um projeto de resfriamento passivo de um tipo de habitação popular em Manta, Equador, aproveitando o potencial térmico do solo e da água. Foi utilizada uma abordagem quantitativa-qualitativa mista, foram considerados métodos numéricos para quantificar os valores de diminuição da temperatura, foi feito o dimensionamento do sistema de condutas de refrigeração passiva e outros parâmetros de conforto e foi utilizado um sistema de captação de ventilação passiva. profundidade, distância do solo com diferenças de temperatura de até 8,7 °C em relação à temperatura média externa máxima, o fluxo de renovação de ar necessário para a habitação estudada foi de 76,64 m<sup>3</sup>/h. Os cálculos foram feitos para uma velocidade de 3m/s. As temperaturas necessárias para melhorar o conforto térmico da casa são alcançadas com um comprimento teórico de 24m e 100mm de diâmetro com o qual a temperatura interior é diminuída de 29 °C para 24 °C. Foi possível adaptar com sucesso o sistema de resfriamento passivo projetado com tubos enterrados à habitação social tipo 1 da urbanização Renacer em Manta, pois no estudo foi idealizado que a temperatura do solo não varie, a cisterna existente foi usada considerando que a água tem uma maior capacidade de calor e inércia térmica do que o solo.

**Palavras-chave:** Habitação Social; Resfriamento Passivo; getter; Temperatura; Potencial Térmico.

## Introducción

La vivienda es un mini ecosistema humano y las personas pasan cada vez más tiempo dentro de sus viviendas, gracias a la tendencia en crecimiento de la flexibilidad laboral con las modalidades FreeLancing, en el contexto de la pandemia mundial que a la fecha de la generación de este documento aún se encuentra dictando la forma de vida de la humanidad, la vivienda se torna el eje central de la vida de muchas personas ya sea por el teletrabajo o por salvaguardar su salud

siendo los diseños de estas viviendas influencias directas en la percepción de comodidad de las familias que cobijan dictando incluso la cantidad de tiempo que las personas eligen pasar en confinamiento. En las viviendas de interés social, cuyas características cambian en torno a las políticas públicas y definiciones locales, las satisfacciones de sus familias habitantes suelen estar correlacionadas con las prestaciones brindadas que se maximizan con escenarios como el confinamiento por pandemia, en México en VIS ubicadas en Culiacán la insatisfacción por sus viviendas en confinamiento llegó a “nada” en un 5.5% de sus habitantes de 18 a 24 años y 13.6% de sus habitantes de entre 41 y 50 años (López, 2021) A mayor cantidad de tiempo dentro del hogar aumenta la necesidad de contar con un ambiente cuyos parámetros de confort sean óptimos para el cuerpo humano. En países tropicales cuyas temperaturas implican una constante búsqueda de confort térmico los sistemas de aclimatación significan un eje crucial en los hogares. Existen métodos de aclimatación pasiva probados mediante la simulación por computadora del comportamiento interno del flujo de aire ingresado a una vivienda por captación pasiva, deben ser estudiadas las condiciones internas y externas de la vivienda (Hernández & Ortiz, 2017). Dispositivos como el Eco-cooler desarrollado hacia comunidades de escasos recursos asentadas en localidades cuyas altas temperaturas afectan el confort térmico para el interior de sus viviendas y, que debido a sus características económicas o de ubicación remota les significa inalcanzable una solución de climatización tradicional como los aires acondicionados o ventiladores, se presentan como soluciones innovadoras ya que, este por ejemplo consiste en la utilización de los principios de enfriamiento pasivo: ubicado en un punto de la vivienda de máxima velocidad para el ingreso del viento, la cara de la botella recortada con el área mayor se encuentra en la dirección contraria a la del viento produciendo una compresión del viento al ingresar y luego una expansión abrupta del mismo (Ch, et al 2018). Los aplicativos de las torres de viento representan también el sustento de la premisa que la distribución espacial interna adecuada aporta al enfriamiento de espacios una vez implementado un captador eficaz de ventilación pasiva, así mismo, un híbrido entre torre de enfriamiento que atravesase un depósito de aguas subterráneas (cisterna en caso de viviendas) representa un ahorro energético del 70% comparándolo con un mini Split promedio (Briceño-Benard, 2018). Se considera el enfriamiento geotérmico como una herramienta en la implementación de enfriamientos pasivos en hogares con buenos resultados en la arquitectura bioclimática en ambientes áridos, a profundidades de tres metros existen diferencias de temperatura de 8.7°C entre el aire externo y la tierra (Cúnsulo et al.,

2019). En países con climas similares al de Ecuador como México, con el crecimiento inmobiliario surgieron casas cuyos diseños no aportan al confort térmico de sus habitantes, propiciando el uso excesivo de acondicionadores de aire lo cual resulta en un perjuicio para el medio ambiente, añade valores a su costo de vida. Esto ocurre en los periodos de alto crecimiento del mercado inmobiliario caracterizado por la construcción de viviendas en serie que no incluyen criterios de sostenibilidad (Marincic et al. 2012). La temperatura considerada por el índice P.E.T, Equivalente de Temperatura Psicológica, como sensación térmica de confort es 18–23°C (Johansson & Yahia, 2012), en Manta la temperatura promedio máxima fue 29 °C . (© WeatherSpark.com, 2022). En Ecuador ya existen estudios que integran la posibilidad de aumentar el confort térmico de las viviendas con métodos sostenibles, en Cuenca en un estudio de posgrado se determinaron los lineamientos base para un diseño con considerable confort higrotérmico para el clima de la sierra y fue evaluado mediante programación por computadora (Navas & Xavier, 2018). Localmente las tipologías de vivienda ofertadas al público de forma privada o gubernamental para dar solución al déficit habitacional solo se distinguen por variaciones del área más no integrando cambios significativos en la distribución espacial. En el año 2018 la empresa MarketWatch realizó un estudio inferencial mediante entrevistas en la ciudad de Quito y determinó la distribución espacial con mayor interés a compra, siendo ésta una vivienda con tres dormitorios y dos baños completos ([www.marketwatch.com.ec](http://www.marketwatch.com.ec) 2018). Entonces lógicamente la mayoría de proyectos inmobiliarios, no varían sus criterios de diseño al concebir la vivienda solo como un producto. Estos diseños arquitectónicos se convierten en un objetivo perfecto para aclimatar implementando alternativas que contribuyan al confort térmico dentro de las viviendas familiares al mismo tiempo que sean económicamente sustentables, y sostenibles ecológicamente.

La investigación llevada a cabo tuvo como objetivo presentar un diseño de enfriamiento pasivo para disminuir la temperatura interna de la tipología de la vivienda mediante un sistema de captación del aire externo a la vivienda, un sistema de tubo enterrado que transporte el aire externo hacia la zona común de la vivienda (sala- comedor) y así disminuir la temperatura interna de la vivienda aprovechando la pérdida de calor por transferencia hacia el suelo a menor temperatura.

## **Metodología**

### **Tipo de investigación**

Se presenta un enfoque mixto cuantitativo-cualitativo, se consideraron métodos numéricos para cuantificar los valores de disminución de temperatura, diseño del sistema de ducto de enfriamiento pasivo y demás parámetros de confort.

### **Tareas de investigación**

Las tareas de la investigación que se realizaron fueron las siguientes:

- Seleccionar la tipología de vivienda en la cual se adaptó el captador considerando distribuciones espaciales acordes a la aceptación y realidad inmobiliaria de Manta.
- Diseñar el sistema de enfriamiento pasivo mediante ductos enterrados calculando los esquemas propuestos en función la varianza de la temperatura interna de la tipología de interés social.

### **Métodos, técnicas y procedimientos de investigación**

Mediante el análisis síntesis se analizaron diseños de captadores de ventilación pasiva estudiados por diversos autores.

Mediante el método histórico lógico se seleccionó la tipología de vivienda a adaptar, sistema considerando distribuciones espaciales acordes a la realidad inmobiliaria de Manta. El análisis de la temperatura y humedad óptimas para una sensación térmica de confort se basó en estudios cualitativos existentes. En base a la información recopilada se diseñó el dispositivo con los principios enfriamiento pasivo de la torre de viento y parámetros de ingreso aerodinámico de ventilación pasiva.

## **Resultados y discusión**

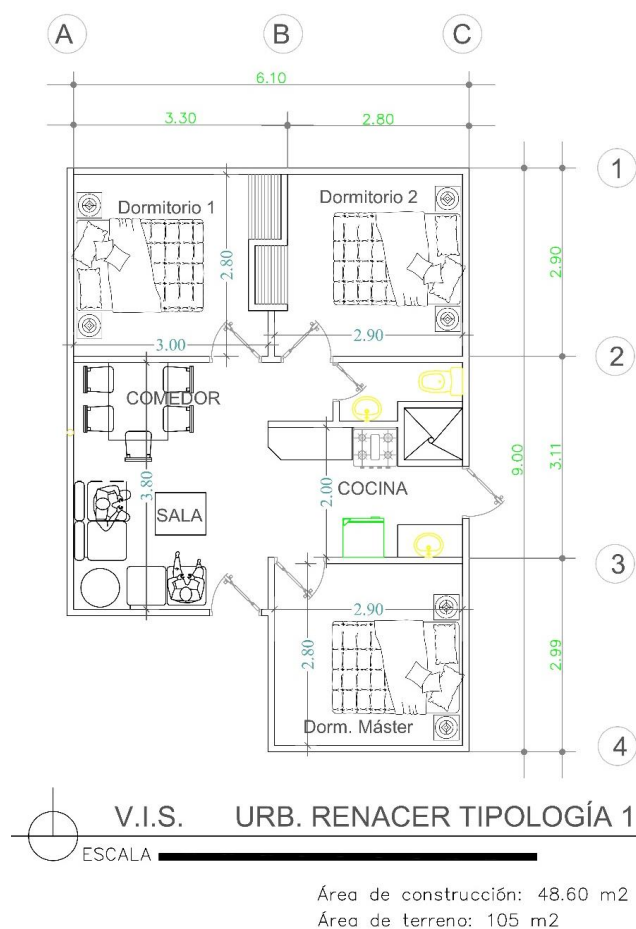
### **Caso de estudio**

Se seleccionó como caso de estudio a la Urbanización Renacer al ser un conjunto de viviendas de interés social calificado por el ente regulador de hábitat y vivienda ecuatoriano (Miduvi, 2021) también se tomó en consideración que su costo por metro cuadrado a la venta es \$569.57, es decir 1.34 salarios básicos unificados ecuatorianos. La tipología de estudio es la vivienda “1”, una

vivienda unifamiliar de un piso pareada en uno de sus costados, cuenta con 48.60m<sup>2</sup> y una cisterna de 7.68m<sup>3</sup>, construida en un sistema de muros portantes y con cubierta metálica, de tres habitaciones y un baño. Están distribuidas mediante manzanas. Mediante una visita de campo se recopilaron las medidas internas y externas de la vivienda.

### Captador de viento

El captador de viento para el sistema propuesto es fijo, obedece al principio de diferencia de presiones de aire que impacta contra las paredes del cerramiento; es cóncava y no alineada al eje del ducto. Está ubicada a 20 centímetros desde el ducto de ingreso. Este diseño es eficaz para velocidades de 1 a 4 m/s. (Sanchez et al., 2012). Se debe colocar un filtro de aire en la entrada del captador de viento, que se cambiaría en función a su vida útil.



**Figura 1:** Distribución de la tipología de vivienda caso de estudio, Ilustración elaborada por el autor.



Acorde a la NEC Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (EE) -2018 el caudal de la vivienda es calculado en función al requerimiento de aire fresco mediante la metodología ASHRAE 62.2:

$$Q_{tot} = 0.15A_{piso} + 3.5(N_{dorm} + 1)$$

Y el cálculo específico del caso de estudio sería:

$$qT := ((0.15) \cdot 48.6 + 3.5 \cdot (4)) \cdot \frac{L}{s} = 76.644 \frac{m^3}{hr}$$

Se considera un ducto de tubería de PVC de 100mm y espesor de pared de tubería de 2mm siendo su conductividad térmica 0.17W/m\*k.

La velocidad dentro del ducto de es 3m/s para este caso.

$$qt := A \cdot v = 84.823 \frac{m^3}{hr}$$

Por lo tanto, el caudal total es mayor al caudal necesario se necesitaría 1 ducto:

$$N := \frac{qT}{qt} = 0.904$$

Se procedió a calcular la temperatura media del conducto (temperatura del aire dentro de la tubería de transporte aire exterior hacia el interior):

Se consideró como temperatura del aire exterior ( $T_{ae}$ ) la temperatura máxima promedio de la estación meteorológica más cercana siendo 29 °C y como temperatura de salida del ducto ( $T_{as}$ ) se consideró 24 °C como temperatura para mejorar las condiciones internas de confort de la vivienda

$$T_{ma} := \frac{T_{ae} + T_{as}}{2} = 26.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para el cálculo de resistencia de conducción ( $R_{cond}$ ) del tubo se toma el espesor de la pared de la tubería de PVC y se lo relaciona con la conductividad térmica del material:

$$\lambda := 0.17$$

$$e := 0.002$$

$$R_{cond} := \frac{e}{\lambda} \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} = 0.012 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

La siguiente fórmula se utiliza para el cálculo de la resistencia de convección y se encuentra en función a la velocidad del aire:

$$R_{conv} := \frac{1}{5.55 \cdot 3^{0.8}} \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} = 0.075 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Por lo tanto, la resistencia térmica del conducto (tubería) resulta de la suma entre la resistencia de conducción y convección:

$$R_{térmicaconducto} := R_{cond} + R_{conv} = 0.087 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Otros parámetros necesarios a considerar son la entalpía del aire seco y el volumen específico del aire tanto para el aire de entrada (29 °C) y para el aire de salida (24 °C). Se utilizó la herramienta Diagrama Psicométrico ya que permite calcular cualquier parámetro de confort higrotérmico conociendo al menos tres parámetros (Baruch, 1969), de los cuales se pudo partir con la elevación de la ubicación de estudio con relación al nivel del mar, la temperatura de bulbo seco de entrada y salida y la humedad relativa para el periodo más caluroso en Manta:

*i*: entalpía del aire seco

*Ve*: Volumen específico del aire

$$i_{entrada} := 94$$

$$V_{eentrada} := 0.89$$

$$i_{salida} := 71.8$$

$$V_{esalida} := 0.87$$

$$E_e := \left( \frac{i_{entrada}}{V_{eentrada}} - \frac{i_{salida}}{V_{esalida}} \right) \cdot 1000 \cdot \frac{W \cdot s}{m^3} = (2.309 \cdot 10^4) \frac{W \cdot s}{m^3}$$

Obteniendo así la energía que se debe extraer dentro del ducto para llegar la temperatura de diseño ( $E_e$ ). A continuación, se calculó el área para el intercambio energético:

$$T_{ma} := 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 299.65 \text{ K}$$

$$T_{tierra} := 20.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 293.65 \text{ K}$$

$$\phi m := \frac{T_{ma} - T_{tierra}}{R_{térmica\ conducto}} = 69.297 \frac{W}{m^2}$$

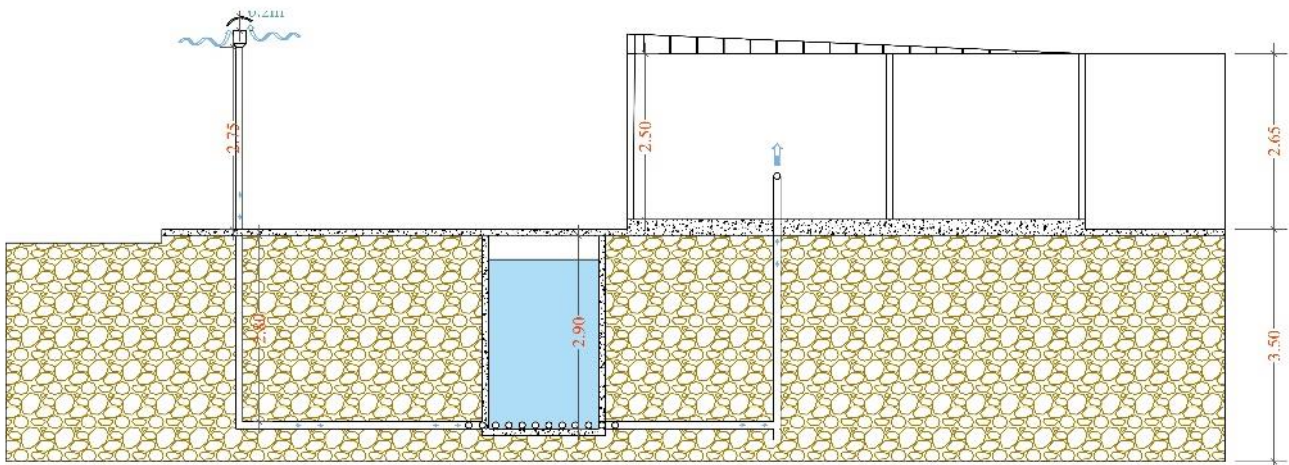
$$qt := A \cdot v = 0.024 \frac{m^3}{s}$$

$$S := \frac{(Ee \cdot qt)}{\phi m} = 7.851 m^2$$

Finalmente, para obtener la longitud (L) de la tubería del sistema:

$$L := \frac{S}{\pi \cdot 0.1 m} = 24.989 m$$

El proceso previamente explicado se realizó de forma iterativa hasta encontrar longitudes acordes a las condiciones reales del caso de estudio considerando las siguientes limitantes: el terreno en el cual se ubican las viviendas tipo 1 es regular siendo de 7 metros de frente por 15 metros de fondo y los diámetros más usados localmente en tuberías de PVC, con una pendiente del 1% para drenar las partículas de agua de condensación y su drenaje respectivo. Teniendo ya la longitud necesaria del ducto de enfriamiento pasivo, se procedió a ubicar dentro del emplazamiento de la vivienda y su terreno tomando en consideración el diseño existente, en el punto de salida del sistema se ubicará un extractor de aire con regulador de velocidad de 1 a 3 m/s.



**Figura 2:** Esquema de la propuesta ducto enterrado, elaborado por el autor.

## Conclusiones

El captador de viento adecuado y simplificado para el sistema propuesto es fijo, debe ser cóncavo y no alineada al eje del ducto y ubicarse a 20 centímetros desde el ducto de ingreso funciona para este y todo diseño en velocidades de 1 a 4 m/s. (Sanchez et al., 2012).

El caudal obtenido en el sistema con una velocidad de 3 m/s fue de 95.43 m<sup>3</sup>/s con la cual se logró una temperatura interna de 24°C siendo la disminución máxima de temperatura posible teóricamente 5°C, si las velocidades en el flujo llegaran a disminuir no representaría un inconveniente ya que el requerimiento de caudal es 76.64 m<sup>3</sup>/s. Se logró adaptar el sistema de enfriamiento pasivo diseñado con tubos enterrados a la vivienda de interés social tipología 1 de la urbanización Renacer en Manta con éxito, ya que en el estudio se idealizó que la temperatura del suelo no varía se utilizó la cisterna existente considerando que el agua tiene una capacidad calórica e inercia térmica mayor a la del suelo.

## Referencias

1. Baruch, G. (1969). *Man, climate, and architecture* (Vol. 1). Elsevier. <https://www.amazon.com/Climate-Architecture-Elsevier-architectural-science/dp/0444200398>
2. Briceño-Benard, I. (2018). *Prototipo de sistema de torre de viento para enfriamiento habitacional híbrido en clima cálido. Caso de estudio vivienda urbana en Sinaloa, México.*
3. Ch, B., Mummina, V., & V, M. chakravarthi. (2018). Performance Evaluation of an Eco-Cooler analysed by varying the Physical and flow Parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 377, 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/377/1/012024>
4. Cúnsulo, M., Kurbán, A., Tosetti, S., & Montilla, E. (2019). POTENCIAL DE ENFRIAMIENTO GEOTÉRMICO PARA EDIFICACIONES EN ZONA ÁRIDA. *Revista hábitat sustentable*, 9(2), 42-51. <https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.02.04>
5. Hernández, P. P., & Ortiz, J. L. L. (2017). INCREMENTO DEL CONFORT TÉRMICO EN LAS VIVIENDAS DEL ESTADO GUANAJUATO A TRAVÉS DE ENFRIAMIENTO PASIVO. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 3(2), 2608-2612.

6. Johansson, E., & Yahia, M. W. (2012). 387: Improving outdoor thermal comfort in warm-humid Guayaquil, Ecuador through urban design. *ICUC8-8th International Conference on Urban Climates*, 6-10.
7. López, M. V. (2021). Habitabilidad de la vivienda en tiempos de pandemia por Covid-19 en México. El caso de Culiacán. *EHQUIDAD. Revista Internacional de Políticas de Bienestar y Trabajo Social*, 15, Art. 15. <https://doi.org/10.15257/ehquidad.2021.0004>
8. Marincic, I., Ochoa, J. M., & Río, J. A. del. (2012). Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad. *ACE: architecture, city and environment*, 7(20), 27-46.
9. Navas, B., & Xavier, B. (2018). *Estrategias de diseño pasivo para brindar confort higro-térmico en un modelo de vivienda mínima de la ciudad de Cuenca*. <http://dspace.ucacue.edu.ec/handle/reducacue/8074>
10. Sanchez, J., Salmerón, J. M., Sanchez, F. J., Alvarez, S., & Molina, J. L. (2012). Ventilación natural: Estudio aerodinámico mediante CFD de extractores pasivos y captadores de viento. *Revista ingeniería de construcción*, 27(1), 40-56.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative

Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).