

Análisis del confort térmico de viviendas sin sistemas de climatización en climas cálidos-secos: evaluación de vivienda unifamiliar en Bucaramanga, Colombia

J G Ascanio-Villabona¹, B E Tarazona-Romero¹, M A Duran-Sarmiento¹, O Lengerke-Perez¹

¹Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, jascanio@correo.uts.edu.co, btarazona@correo.uts.edu.co, Aduran@correo.uts.edu.co, olengerke@correo.uts.edu.co

Abstract– This article describes the monitoring of a dwelling located in a hot dry climate to obtain data to evaluate the thermal comfort of living. This study is carried out in a typical single-family house in the metropolitan area of Bucaramanga in Colombia. A monitoring of the thermal performance is carried out, from which the temperature and relative humidity data is obtained for 30 days with 5-minute time intervals, with sensors located in the interior and exterior areas of the house. Likewise, with the data obtained from the monitoring, a thermal comfort analysis was performed using the Leonardo Hill and Morikofer-Davos methodology for the calculation of heat sensation and thermal comfort under the adjusted cooling power equation, used by the Colombian Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM). The results show a thermal sensation of dissatisfaction with more than 90%, with 1382.4 hours of very hot, 1151.6 hours of hot and 280.8 hours of warm thermal sensation. This research provides a reference case for future studies on the subject.

Keywords-- Thermal comfort, hygrothermal monitoring, indoor temperature, heat index

Resumen - El presente artículo describe la monitorización de una vivienda localizada en clima cálido seco con la finalidad de obtener los datos para evaluar el confort térmico habitacional. Este estudio se realiza en una vivienda típica del área metropolitana de Bucaramanga en Colombia. Se realiza una monitorización del comportamiento térmico para la obtención de datos de temperatura y humedad relativa durante de 30 días con intervalos de tiempo de 5 minutos, con sensores ubicados en la zona interior y exterior de la vivienda. Con los datos obtenidos se realiza un análisis del confort térmico usando la metodología de Leonardo Hill y Morikofer-Davos para el cálculo de la sensación de calor y confort térmico bajo la ecuación ajustada de poder de refrigeración, usada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Los resultados presentan una sensación térmica de insatisfacción con más del 90%, con 1382,4 horas de sensación muy caluroso, 1151,6 horas de caluroso y 280,8 horas de sensación térmica cálido. Esta investigación permite proporcionar un caso de referencia para futuros estudios en relación con el tema.

Palabras clave: Confort térmico, monitorización higrotérmica, temperatura interior, índice de calor.

I. INTRODUCCIÓN

Las Naciones Unidas en el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático [1], en su tercer informe confirma la influencia del ser humano y sus formas de vida es la mayor consecuencia del cambio climático, generando el aumento cercano de 1°C desde hace varias décadas. los

electrodomésticos y servicios de la actual sociedad tienen relación con el calentamiento atmosférico y fenómenos meteorológicos: “El aumento del nivel de vida, la urbanización y la demanda de nuevos servicios energéticos presionan al alza la demanda de energía en el sector edificación”. [2]. Muestra de esto, es la demanda mundial de energía final en 2019 de los edificios que alcanzó el 31% de la demanda energética final mundial. En ese mismo año, los edificios residenciales consumieron el 70% de la demanda energética final global de los edificios. Al mantenerse el aumento, las proyecciones se representan en el consumo para calentamiento de agua, calefacción y refrigeración.

Las características del ambiente interior habitacional incluyen variaciones en la temperatura del aire exterior, superficie, humedad, velocidad del viento y la dirección del viento [3]. El confort térmico hace parte fundamental al momento de diseñar y planificar la construcción de una vivienda convencional [3]–[6]. En una vivienda interviene en el consumo energético por necesidad de mejorar el confort térmico de los espacios interiores [7], [8]. Es por esto que hay mayor atención en el urbanismo bioclimático, para mejorar la eficiencia energética [9], [10].

En Colombia, como una medida de transición energética y tendencia verde, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, reglamenta la Resolución 549 de 2015 estableciendo parámetros y lineamientos de construcción sostenible, y adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones nuevas en todo el territorio nacional [11]. Para los proyectos de vivienda de interés social (VIS) y de interés prioritario (VIPA), los porcentajes de ahorro son indicativos y de optativo cumplimiento, lo que se considera una problemática en el consumo eficiente de los recursos energéticos teniendo en cuenta que actualmente, este tipo de edificaciones representan el 70,8% del total de viviendas nuevas en el país [12].

El estudio de las condiciones climáticas de una ciudad ha sido tema de análisis de distintos investigadores alrededor del mundo, siendo ejes de investigación los distintos parámetros y variables que condicionan el clima a niveles locales [9], [10]. Colombia cuenta con un clima tropical y los proyectos de vivienda apenas consideran aspectos de confort térmico en el comportamiento pasivo de la construcción, fiando dicho confort de forma íntegra a la posterior implementación de sistemas de climatización. De acuerdo con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible [13], la mayoría de

los proyectos “verdes” son de uso comercial o de oficinas, pero se encuentra lento en edificaciones residenciales, debido en mayor medida a los costos que generan la inclusión de aspectos sostenibles en estas viviendas [14].

El objetivo principal de este artículo es evaluar el confort térmico de una vivienda en clima cálido seco, por medio de la campaña de monitorización realizada en una vivienda localizada en Bucaramanga con clima cálido seco, que tiene como alcance obtener datos de comportamiento real del edificio que se utilizarán para determinar las condiciones e índices de confort en la vivienda y establecer la sensación térmica ocupacional, las horas de incomodidad térmica en el tiempo monitorizado [15]. Varios estudios se han plantean como objetivos la realización de validación de modelos monitorización climática, ambiente interior y análisis de índice de calor o sensación térmica, que para su ejecución requieren de metodologías para la correcta adquisición de datos.

A nivel mundial, pueden encontrarse numerosos estudios de campo sobre el ambiente interior y el confort térmico en edificios residenciales. Santos Nouri et al. [16] cuantificaron la vulnerabilidad al calor el clima cálido dentro del entorno residencial con la monitorización in situ por medio estaciones meteorológicas aplicando una nueva métrica y teniendo en cuenta el sistema de estructura de la vivienda. En [17] evaluaron la sensación térmica prevista y real del interior en un clima tropical de seis edificios residenciales sin aire acondicionado por medio del análisis de regresión y pruebas de correlación de Pearson, recolectando datos de temperatura del aire interior y exterior con estaciones meteorológicas instaladas in situ. Pal et al. [18] evaluaron las condiciones de confort térmico en clima caliente en el interior de una vivienda con el monitoreo de datos de parámetros ambientales (temperatura del aire interior, temperatura radiante media, humedad relativa y velocidad del viento) y, por medio de análisis de regresión lineal, comparan los resultados de los valores reales medidos con datos anteriores disponibles en la literatura. Kajjoba et al. [19] estudiaron el confort térmico y la calidad del aire en viviendas de interés social por medio de mediciones interiores y exteriores de la temperatura del aire (T_a), la temperatura radiante media (MRT), la humedad relativa, la velocidad del aire durante quince días durante el mes de junio de 2019. En cinco zonas climáticas de China, investigaron el confort térmico mediante el monitoreo del ambiente térmico interior y cuestionarios en línea, en edificios residenciales encontrando como resultados que, los niveles generales de temperatura del aire interior y exterior de una estación particular afectaron la sensación térmica de los residentes [20]. Yan et al. para explorar la capacidad de adaptación térmica y desarrollar modelos de confort térmico en diferentes zonas climáticas, monitorizaron el interior de 120 edificios residenciales registrando la temperatura del aire interior y la humedad relativa automáticamente a intervalos de 30 min. En China, varios estudios a través de mediciones in situ han enfocado sus investigaciones en evaluar el confort térmico interior de diversos tipos de viviendas [21]–[24]. Si

bien en la literatura se pueden encontrar numerosos estudios en relación con estudio del confort térmico, el número se ve reducido cuando se pone el foco en estudios en climas cálidos secos, y, en concreto, en viviendas que en muchas ocasiones no cuentan con un sistema de refrigeración.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

El presente trabajo analiza el índice de calor y la sensación térmica para una vivienda unifamiliar en una ciudad de Colombia con clima cálido seco. La monitorización se realiza en el interior y exterior de la vivienda, registrando variables higrotérmicas (Temperatura y humedad relativa), en una vivienda convencional ubicada en el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga. Con este fin, se implementó un sistema de medición y adquisición de datos por medio de termohigrómetros, que se distribuyen por el interior y el exterior de la vivienda seleccionada y un datalogger que almacena los datos de las variables en intervalos de 5 minutos durante de 30 días. Para establecer un estudio cuantitativo y cualitativo para determinar el índice de calor y la sensación de calor se hace necesario la temperatura y humedad relativa [25]. J. Diego Mas en su explicación de la aplicación del método adaptivo de confort térmico de la ASHRAE, expone las limitaciones que puede tener en este método según las recomendaciones de la norma ISO 7730 "Ergonomía del ambiente térmico", donde determina que el índice del voto medio estimado (PMV) sólo debería utilizarse para evaluar ambientes térmicos en los que las variables implicadas en el cálculo permanecieran comprendidas dentro de los intervalos que equivalen a ambientes térmicos entre frescos y calurosos[26]. Por otra parte, investigaciones realizadas sobre confort térmico y sensación de calor aplican metodologías según la caracterización de la zona de estudio sus ventajas y limitantes [27], [28]. Las metodologías estudiadas de análisis de sensación térmica son formuladas y adaptadas a las diversas estaciones que se presentan a lo largo del año (primavera, verano, otoño e invierno) [28]–[31].

Con el objetivo de evaluar el confort térmico del ambiente interior, se utiliza la metodología propuesta por el IDEAM. Para la estimación del índice de confort, la metodología considera tres escenarios para el cálculo del índice de confort, dependiendo de la altitud de la zona de estudio con relación al nivel del mar. Se propone una metodología en base a la zona de caso de estudio (Bucaramanga, Colombia), que se basa en los siguientes criterios: que el método elegido no sea aplicado estrictamente para zonas con diversidad de estaciones climáticas, debido a la proximidad a la línea del Ecuador de la localización en la que se realizó la monitorización [32]. El método debe incluir las principales variables de estudio monitorizadas como temperatura y humedad relativa, que influyen en la sensación térmica de una zona determinada. Finalmente se quiso que los resultados describan de manera cualitativa la sensación térmica a través de los establecidos por

un método cuantitativo que proporcione soporte a la metodología implementada.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM [33], como institución nacional para la comprensión del clima de Colombia, no solo utiliza distintas variables físicas (como temperatura, humedad relativa, radiación solar, etc.) para la determinación de las zonas climáticas, sino que también incluye la altitud y variables biológicas como tipos de vegetación y ecosistemas naturales, cuya inclusión posibilita una ramificación mayor en la definición de zonas climáticas. La metodología establecida se funda en calcular la sensación de calor y confort térmico en base a la ecuación ajustada de Poder de Refrigeración de Leonardo Hill y Morikofer-Davos [34]–[36]. Su estructura parte de la clasificación bioclimática definida por un índice de calor (IC) y no por un índice de poder de refrigeración (H). Adicionalmente, fue incorporada la variable de humedad relativa y, los valores base de la fórmula original se adaptaron hasta alcanzar resultados concretos según la variación de la temperatura con la altura. Así mismo cuenta con tres fórmulas dependiendo de la altura al nivel del mar que tenga la zona geográfica a estudiar, en la Fig. 1 se presenta el algoritmo utilizado para el cálculo.

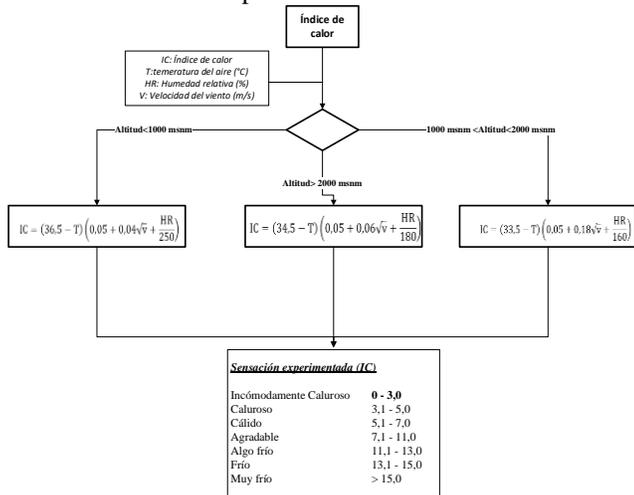


Fig. 1 Metodología de aplicación para el análisis del Índice de calor y sensación térmica

Elaboración propia, basada en [37]

Para la obtención de los datos necesarios para este estudio, se realizó una monitorización de una vivienda convencional localizada en Bucaramanga, en Colombia (Ver Fig. 3). Bucaramanga es una ciudad ubicada en la cordillera oriental al noreste del país, con clima cálido seco. Bucaramanga tiene un clima con campañas de variación de vientos secos y frescos a vientos cálidos y húmedos con fuertes lluvias (según clasificación climática de Köppen: Am) y está clasificado por el IDEAM de la siguiente como: “Zonas con menor altitud de la ciudad con un clima seco y cálido”. En el área de estudio el clima tiene temperatura promedio entre 23°C y una temperatura máxima de 34°C. La vivienda tiene

una superficie total de 126 m² que se distribuyen en dos niveles como se puede ver en la Fig. 4.

El caso de estudio es seleccionado en base a criterios de representatividad, pudiéndose considerar éste un caso representativo de viviendas unifamiliares en el área de estudio. La vivienda cuenta con envolvente de hoja ladrillo de 0,12 m de espesor revestido por las dos caras con una capa de cemento plástico de 0,025 m de espesor. Las particiones están compuestas por ladrillos de 0,12 m con un recubrimiento en ambas caras de cemento plástico. El suelo constituido de exterior a interior por los siguientes materiales: hormigón fundido de 0,07 m, cemento plástico de 0,02 m y loza cerámica de 0,02 m. La cubierta está compuesta por tejas de barro sujetas al concreto. Las ventanas presentan una hoja de vidrio simple de 3 mm, y marco de aluminio. Esta vivienda no cuenta con sistemas de refrigeración activas ni tecnologías de refrigeración pasiva.



Fig. 2 Vivienda de estudio [38]



Fig. 3 Ubicación geográfica de Bucaramanga, Santander [38]

La monitorización se desarrolló durante 30 días en la primavera de 2020, entre los días 1 al 31 del mes de mayo, con intervalos de 5 minutos. Para ello se utilizaron sensores WS-3000, compuesto por un monitor inalámbrico donde se visualizan y almacenan las variables de temperatura y humedad relativa. Las principales características de estos sensores se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Características de los sensores.

Medidas	Rango	Exactitud	Resolución
Temperatura interior	-40 a 60°C		0.1 °C
Temperatura exterior	-40 a 60 °C		0.1 °C
Humedad interior	10 a 99%	+ 5% (entre 20 y 90%)	1%
Humedad exterior	10 a 99%	± 5% (entre 20 y 90%)	1%

Los sensores se ubicaron de manera que cubre los puntos exteriores expuestos a la radiación directa del sol, y en el área interior las áreas representativas de la casa.

Se instalaron tres sensores en el exterior de la vivienda, dos en la orientación este y uno en la orientación oeste. En el interior se instalaron cinco sensores, distribuidos en ambas plantas de la vivienda, y tomando datos con el mismo intervalo de tiempo. En la planta baja se ubicaron tres sensores, uno situado en una estancia orientada al este, otro en una estancia orientada al oeste y el otro en la zona intermedia de la vivienda. La colocación de los sensores en la planta superior siguió el mismo criterio, instalando 1 en una estancia orientada al este (habitación 3) y otro en una estancia orientada al oeste (habitación 2).

Tabla 2. Distribución de los sensores y codificación

Canal	Código	Ubicación
Canal 1	(EEX21)	Zona este, Muro externo – Planta superior
Canal 2	(EI22)	Zona este, Muro interno – Planta superior
Canal 3	(OI23)	Zona oeste, Muro interno – Planta superior
Canal 4	(OEX24)	Zona oeste, Muro externo – Planta superior
Canal 5	(EEX15)	Zona este, Muro externo – Planta baja
Canal 6	(EI16)	Zona este, Muro interno – Planta baja
Canal 7	(II17)	Zona central, (Intermedia de la vivienda)
Canal 8	(OI18)	Zona oeste, Muro interno – Planta baja

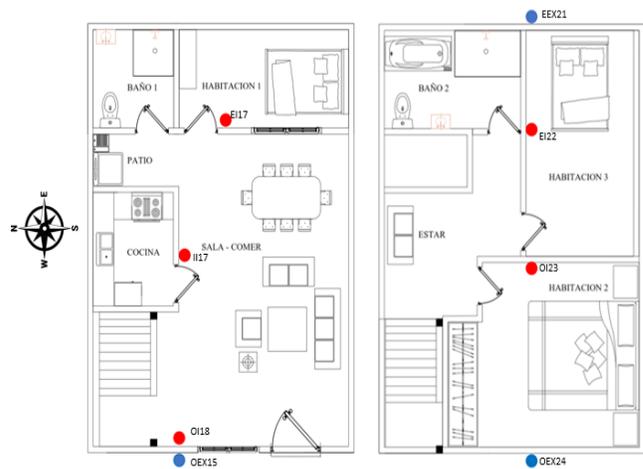


Fig. 4. Localización de sensores en el interior y exterior (Clasificación de zonas)

Cabe destacar que debido a las condiciones durante ese periodo de tiempo (situación derivada de la Pandemia de COVID-19) la vivienda presenta una ocupación continuada a lo largo de toda la monitorización y con horarios y perfiles derivados de esta situación.

Con la información adquirida se realizó el análisis de los resultados de temperatura y humedad relativa, para establecer el comportamiento de la temperatura y su impacto en el confort interior de la vivienda.

El impacto del confort térmico se analiza por medio del cálculo del índice de la sensación térmica usando las ecuaciones de la metodología del IDEAM, en este modelo se selecciona una altitud de la geográfica sobre el nivel del mar entre 1000msnm y 2000msnm, debió a que Bucaramanga cuenta con una Altitud media de 1.348 m. Los datos de temperatura y humedad se establecen los de la monitorización. Con IC calculada se determina la cualificación de sensación térmica en cada hora.

Finalmente, los datos resultantes se utilizan para calcular el total de horas de sensación térmica según su clasificación, donde los parámetros fuera de $7,1 < IC < 11$ y con clasificación “agradable” se considerarán las horas de desconfort. También se calcula el porcentaje de cada calificación de sensación térmica en comparación con el total de horas monitorizadas, para así se podrá determinar el estado de comodidad térmica en la vivienda.

III. RESULTADOS

Los datos recolectados en la fase de monitoreo fueron analizados para caracterizar los parámetros del ambiente interno con el índice de calor y la sensación térmica (ST) [39]. La Figura 5 se muestra la comparación de los datos de todos los sensores instalados. Esta refleja valores similares entre algunos sensores, pero no todos, por lo cual no se considera una homogeneidad de las temperaturas de la planta baja, entre la planta superior y entre las exteriores, debido a la incidencia solar durante el día.

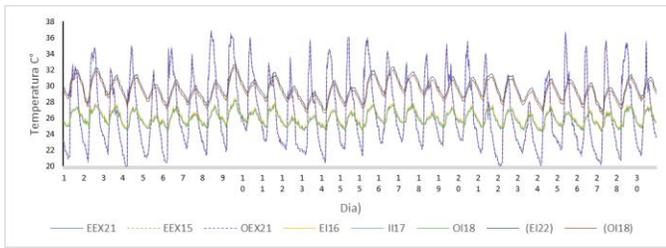


Figura 5 Datos monitorizados por los sensores.

La evolución de las temperaturas muestra valores similares entre los sensores presentes del exterior, y similar en la temperatura registrada en los sensores de la Planta baja. Al comparar los valores de los sensores de temperatura exterior se tiene un porcentaje de variación entre 0% y 0,5%, con diferencias de temperatura entre de 0,1°C, con unos valores máximos de 36,8°C y mínimos de 19,7°C, y un promedio de 26,68°C.

Partiendo de lo anterior, se establecen tres zonas de análisis. La primera zona (Zona 1) comprende la totalidad de la planta baja. La segunda zona (Zona 2) corresponde a las dos estancias orientadas al este de la planta superior. Finalmente, la Zona 3 se define para la los datos registrados por el sensor de ubicación oeste de la segunda planta (ver Fig. 6).

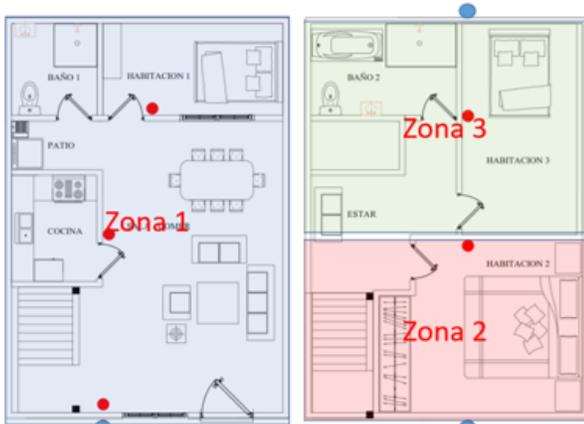


Fig. 6 División de las zonas de estudio de la vivienda

En la Fig. 7 se realiza la comparación de la temperatura de las zonas. Se evidencia la evolución de la temperatura exterior es causa directa de la temperatura interna.

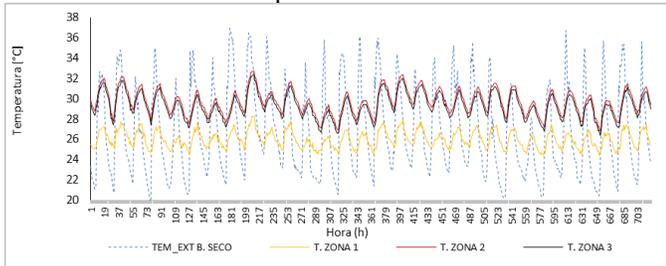


Fig. 7 Temperaturas registradas por los sensores establecidos en las zonas de estudio.

La sensación térmica se calculó en cada una de las zonas monitorizadas partiendo le promedio obtenido de los sensores instalados en cada zona de la vivienda (exterior, zona 1, zona

2 y zona 3), para la cual se calculó el índice de sensación térmica en las horas de monitorización para cada una de las zonas.

La sensación térmica se evalúa siguiendo la ecuación de índice de calor del Modelo 1 para identificar el valor cuantitativo que permita seleccionar un resultado cualitativo de sensación térmica. En base a estos resultados se grafica el valor del IC con relación a la sensación térmica en cada hora de monitorización en las zonas seleccionadas. (Ver Fig. 8) el valor cuantitativo que permita seleccionar un resultado cualitativo de sensación térmica. En base a estos resultados se grafica el valor del IC con relación a la sensación térmica en cada hora de monitorización en las zonas seleccionadas. (Ver Fig. 8)

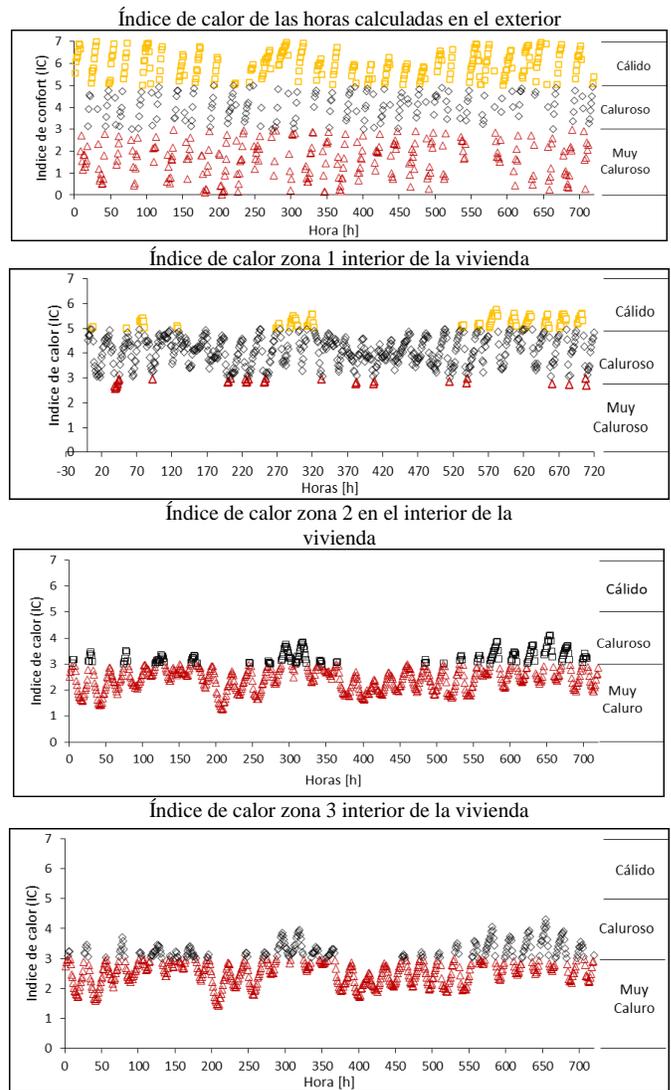
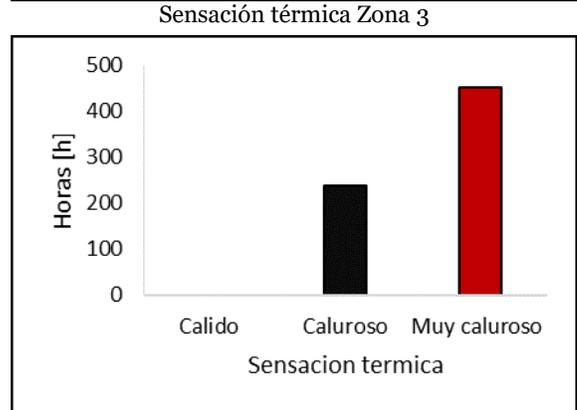
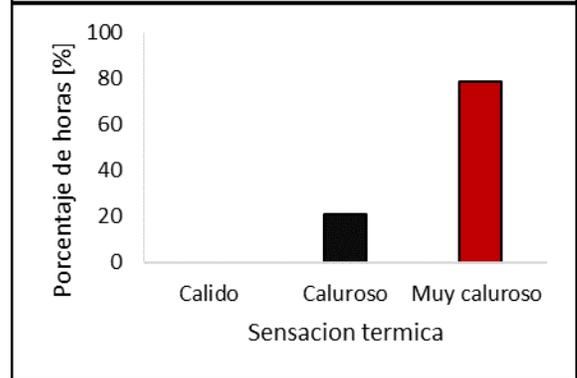
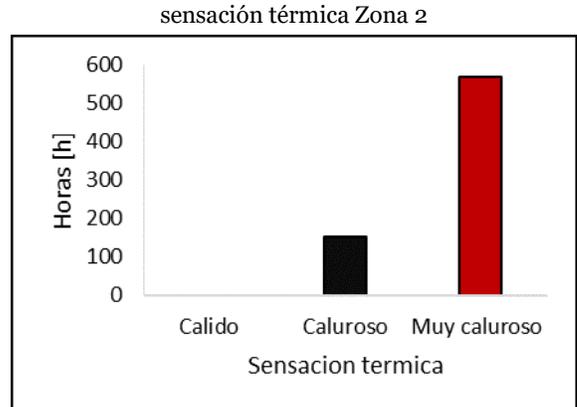
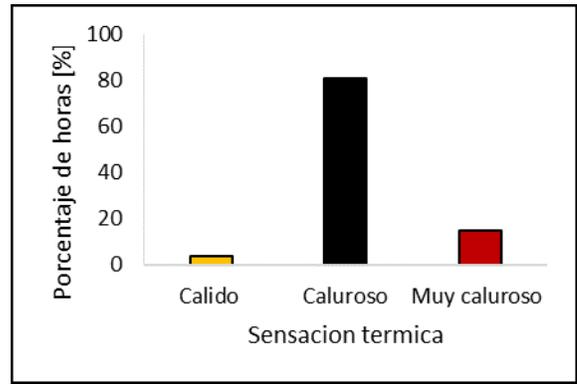
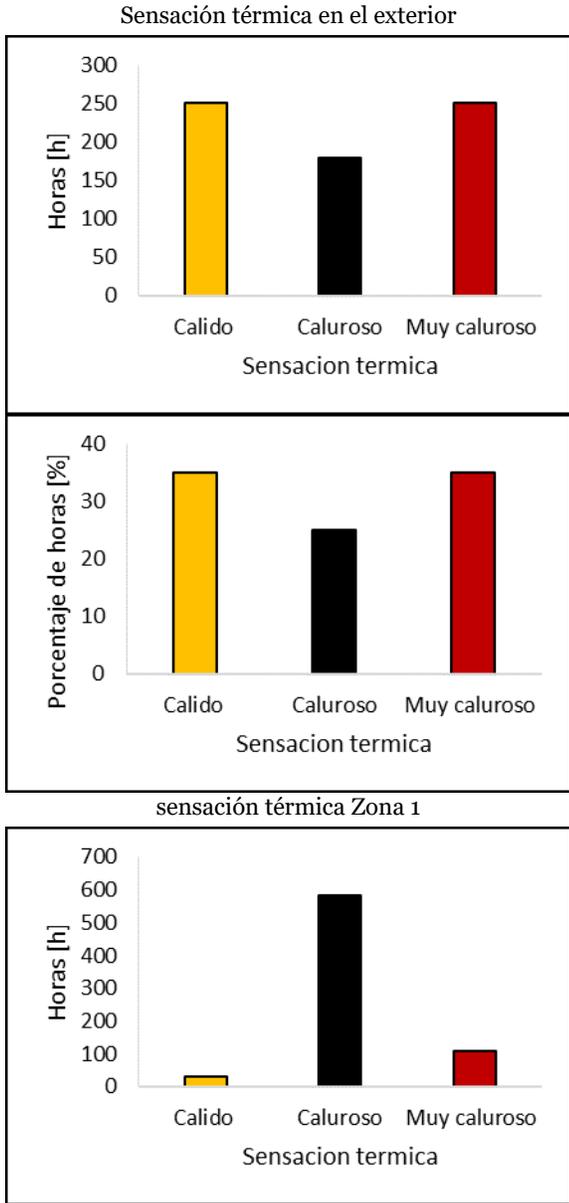


Fig. 8 Índice de calor calculado en las zonas de la vivienda

El porcentaje de horas se cuantifica a partir de las horas de sensación térmica seleccionada de manera cualitativa a partir del índice de sensación térmica, que para el caso del presente estudio únicamente fue cálido, caluroso y muy

caluroso. En la Figura 9 se presenta el porcentaje de horas en las cuales se tiene determinado índice de calor, de igual manera se presentan la cantidad de horas de esta sensación térmica durante el tiempo total de la monitorización.



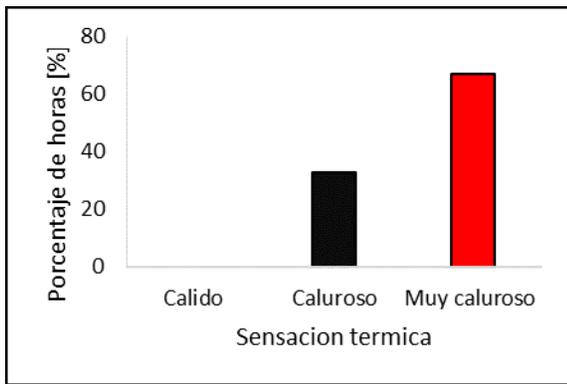


Figura 9 Horas y porcentajes de sensación térmica.

IV. DISCUSIÓN

El registro realizado presentó temperaturas en el exterior de la vivienda con valor máximo de 36,8°C y mínimo de 19,7°C con promedio 26,7°C y humedades relativas que oscilan entre 89% y 35%. La planta baja cuenta con temperatura máxima de 28,3°C y mínima de 24,4°C con un promedio de 26°C, y variaciones de temperatura máximas de 4°C. En la planta superior, se registra un valor máximo de 32,8°C y mínimo de 26,8°C con variaciones entre estos de 6°C. Todas las temperaturas varían de forma directa con la variación de la temperatura exterior, siendo la temperatura del ambiente el principal factor para la variación de la temperatura en el interior de la vivienda.

La sensación térmica se evaluó en 3 zonas internas, así como en el exterior de la vivienda. El índice de calor en el exterior según su clasificación de sensación térmica presentado en la Fig. 8 evidencia un porcentaje de 35% en sensación cálida y muy caluroso en 252 horas, mientras que caluroso se da en un 25% con una representación de 180 horas. En la zona baja muestra los puntos del índice de calor con IC caluroso en 583 horas, seguida con 108 horas de sensación cálida y 28,8 horas muy caluroso, esto representa el 81%, 15% y 4% respectivamente del total de monitorización. También se tienen 568.8 horas con una ST de muy caluroso siendo el 79% mientras que la ST caluroso se dio en 151.2 horas representado un 21% de los datos analizados. De igual forma en las figuras se evidencia un 67% de ST muy caluroso siendo 453.6 horas y el 33% se ST caluroso estando 237.4 horas del tiempo monitorizado. El confort térmico interior se ve directamente reflejado por la temperatura y humedad del entorno donde se monitorizó, pero a su vez estas son consecuencia de la temperatura exterior.

Es de evidenciar que los cambios de la temperatura exterior producen cambio en la temperatura interior en las tres zonas estudiadas. Los picos de calor presentes en el exterior generan picos de calor internos. Cuando baja la temperatura exterior la interior se mantiene en con valores altos, debido a poco flujo de aire circulante en la vivienda.

CONCLUSIONES

El trabajo presentado tuvo como objetivo analizar las condiciones de confort térmico de viviendas unifamiliares en ambiente cálido y seco durante periodos de ocupación. Estos datos, adicionalmente, se utilizarán para la realización y validación de un modelo de comportamiento térmico del edificio para su análisis detallado. Para este análisis, se desarrolla una primera fase de monitorización para la medición de variables climáticas externas y de ambiente interior, seguida de la utilización de estos datos para, mediante la metodología propuesta por el IDEAM, hacer un análisis del confort del caso de estudio mediante el cálculo del IC en cada zona establecida en el estudio. Con las variables del interior se procedió a calcular el índice de confort y sensación térmica por medio de la aplicación de la metodología de cálculo de sensación térmica aplicada. Con base en el análisis de los datos registrados durante la monitorización, se derivaron algunas consideraciones específicas relacionadas con la evaluación climática.

El ambiente interno de la vivienda monitorizada presenta temperaturas consecuentes de la temperatura exterior, lo que representa para la planta baja una variación interna máxima de 2° de hora a hora, pero reducida con respecto a la temperatura exterior presentado una diferencia en momentos de temperaturas máxima de 8°C, mientras que en la planta superior varia la temperatura exterior de manera similar manteniendo diferencias de 4°C en puntos máximos de temperatura. La zona donde se registra mayor temperatura en todo tiempo es planta superior, esto a consecuencia que la mayor parte de la superficie expuesta a la incidencia solar en la mayor parte del día por encontrarse cerca de la línea del ecuador, esto mantiene la temperatura en las paredes y techo comportándose como un sistema de almacenamiento de calor.

Con la aplicación del método del índice de calor permite detectar la dispersión de sensación de calor. El ambiente exterior presenta una dispersión alta entre las sensaciones cálida, caluroso y muy caluroso, pero en la planta superior disminuye el índice de calor en la mayor cantidad de las horas de monitorización presentado índices calurosos y muy calurosos. La sensación térmica va relacionada con las altas temperaturas y bajas humedades relativas que se presentan en el exterior e interior de la vivienda resultando disconfort térmico superior al 90% del tiempo monitorizado.

El enfoque del análisis de datos permite obtener una mejor comprensión de los patrones del ambiente interior del estudio de caso. Los resultados pueden sentar las bases para brindar soluciones al mejoramiento del índice de sensación térmica y reducir las horas de disconfort térmico por medio de técnicas de refrigeración pasiva para rehabilitar la vivienda con parámetros nZEB. Es así que se debe realizar una investigación adicional para evaluar diferentes técnicas de refrigeración pasiva que ayuden a mejorar el confort habitacional.

REFERENCIAS

- [1] [1] “AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability — IPCC.” Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- [2] [2] R. K. Pachauri *et al.*, “IPCC2014”, Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: <http://www.ipcc.ch>.
- [3] [3] R. K. Pachauri *et al.*, “Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” *EPIC3 Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p., pp. 151, ISBN: 978-92-9169-143-2*, 2014.
- [4] [4] J. E. Ibrahim, J. A. McInnes, N. Andrianopoulos, and S. Evans, “Minimising harm from heatwaves: A survey of awareness, knowledge, and practices of health professionals and care providers in Victoria, Australia,” *Int J Public Health*, vol. 57, no. 2, pp. 297–304, 2012, doi: 10.1007/S00038-011-0243-Y.
- [5] [5] Y. Lu, S. Wang, C. Yan, and Z. Huang, “Robust optimal design of renewable energy system in nearly/net zero energy buildings under uncertainties,” *Appl Energy*, vol. 187, pp. 62–71, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.11.042.
- [6] [6] K. Javanroodi and V. M. Nik, “Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas,” *Buildings 2019, Vol. 9, Page 189*, vol. 9, no. 8, p. 189, Aug. 2019, doi: 10.3390/BUILDINGS9080189.
- [7] [7] T. Cheung, S. Schiavon, T. Parkinson, P. Li, and G. Brager, “Analysis of the accuracy on PMV – PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II,” *Build Environ*, vol. 153, pp. 205–217, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.01.055.
- [8] [8] K. Panchabikesan, K. Vellaisamy, and V. Ramalingam, “Passive cooling potential in buildings under various climatic conditions in India,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, pp. 1236–1252, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2017.05.030.
- [9] [9] A. Vilches, A. Garcia-Martinez, and B. Sanchez-Montañes, “Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review,” *Energy and Buildings*, vol. 135. Elsevier Ltd, pp. 286–301, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.11.042.
- [10][10] Y. Toparlar *et al.*, “CFD simulation and validation of urban microclimate: A case study for Bergpolder Zuid, Rotterdam,” *Build Environ*, vol. 83, pp. 79–90, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2014.08.004.
- [11][11] ciudad y territorio Ministerio de vivienda, “Resolución-549-de-2015,” *Ministerio de vivienda, ciudad y territorio*, 2015.
- [12][12] Camacol, “Indicadores ventas de vivienda primer semestre 2022 - Camacol,” 2022. Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: <https://camacol.co/actualidad/noticias/indicadores-ventas-de-vivienda-primer-semestre-2022>
- [13][13] “Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS – Liderando el desarrollo sostenible de la industria de la construcción.” Accessed: Feb. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.cccs.org.co/wp/>
- [14][14] Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, “Estado de la Construcción Sostenible en COLOMBIA,” 2021. Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: www.cccs.org.co
- [15][15] E. J. Hutchinson, P. Wilkinson, S. H. Hong, and T. Oreszczyn, “Can we improve the identification of cold homes for targeted home energy-efficiency improvements?,” *Appl Energy*, vol. 83, no. 11, pp. 1198–1209, Nov. 2006, doi: 10.1016/J.APENERGY.2006.01.007.
- [16][16] A. Santos Nouri, O. Çalıřkan, I. Charalampopoulos, S. Cheval, and A. Matzarakis, “Defining local extreme heat thresholds and Indoor Cooling Degree Necessity for vulnerable residential dwellings during the 2020 summer in Ankara – Part I: Air temperature,” *Solar Energy*, vol. 242, pp. 435–453, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.SOLENER.2021.10.059.
- [17][17] M. A. U. R. Maddumaarachchi, V. M. Jayasooriya, and D. M. Senevirathne, “A Comparison Between Predicted and Actual Thermal Sensation in Non-air-conditioned Residential Buildings in a Tropical Climate: A Case Study,” *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 266, pp. 477–487, 2023, doi: 10.1007/978-981-19-2886-4_33/COVER.
- [18][18] C. L. Pal, N. Netam, and M. Manish, “Thermal comfort assessment during summer in rural Indian kitchens in tropical regions,” *Advances in Building Energy Research*, 2023, doi: 10.1080/17512549.2023.2204341.
- [19][19] D. Kajjoba, H. Kasedde, P. W. Olupot, and J. D. Lwanyaga, “Evaluation of thermal comfort and air quality of low-income housing in Kampala City, Uganda,” *Energy and Built Environment*, vol. 3, no. 4, pp. 508–524, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.ENBENV.2021.05.007.
- [20][20] D. Lai *et al.*, “Thermal comfort diversity in Chinese urban residential buildings across various climates,” *Energy Build*, vol. 231, p. 110632, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.110632.
- [21][21] D. Yang, J. Xiong, and W. Liu, “Adjustments of the adaptive thermal comfort model based on the running mean outdoor temperature for Chinese people: A case study in Changsha China,” *Build Environ*, vol. 114, pp. 357–365, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2016.12.038.
- [22][22] Y. Song *et al.*, “Residential adaptive comfort in a humid continental climate – Tianjin China,” *Energy Build*, vol. 170, pp. 115–121, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2018.03.083.
- [23][23] T. Wu, B. Cao, and Y. Zhu, “A field study on thermal comfort and air-conditioning energy use in an office building in Guangzhou,” *Energy Build*, vol. 168, pp. 428–437, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2018.03.030.
- [24][24] C. Xu, S. Li, X. Zhang, and S. Shao, “Thermal comfort and thermal adaptive behaviours in traditional dwellings: A case study in Nanjing, China,” *Build Environ*, vol. 142, pp. 153–170, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2018.06.006.
- [25][25] S. Carlucci, S. Erba, L. Pagliano, and R. de Dear, “ASHRAE Likelihood of Dissatisfaction: A new right-here and right-now thermal comfort index for assessing the Likelihood of dissatisfaction according to the ASHRAE adaptive comfort model,” *Energy Build*, vol. 250, p. 111286, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2021.111286.
- [26][26] J. Antonio. Diego-Mas, “Evaluación Del Confort Térmico Con El Método De Fanger,” Universidad Politécnic de Valencia. Accessed: Apr. 14, 2021. [Online]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>
- [27][27] N. Martín Díaz, “ARQUITECTURA TRADICIONAL COLOMBIANA COMO SISTEMA PASIVO DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO,” Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2016.
- [28][28] W. Liu, X. Tian, D. Yang, and Y. Deng, “Evaluation of individual thermal sensation at raised indoor temperatures based on skin temperature,” *Build Environ*, vol. 188, p. 107486, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2020.107486.
- [29][29] X. Zhou, D. Lai, and Q. Chen, “Evaluation of thermal sensation models for predicting thermal comfort in dynamic outdoor and indoor environments,” *Energy Build*, vol. 238, p. 110847, May 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2021.110847.
- [30][30] M. Kuru and G. Calis, “Understanding the Relationship between Indoor Environmental Parameters and Thermal Sensation of users Via Statistical Analysis,” *Procedia Eng*, vol. 196, pp. 808–815, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROENG.2017.08.011.
- [31][31] Y. Xie *et al.*, “Outdoor thermal sensation and logistic regression analysis of comfort range of meteorological parameters in Hong Kong,” *Build Environ*, vol. 155, pp. 175–186, May 2019, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2019.03.035.
- [32][32] C. Ocampo-Marulanda *et al.*, “Missing data estimation in extreme rainfall indices for the Metropolitan area of Cali - Colombia: An approach based on artificial neural networks,” *Data Brief*, vol. 39, p. 107592, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.DIB.2021.107592.
- [33][33] O. Cecilia González, “Metodología para el Calculo del Confort Climático en Colombia,” *INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM*, Accessed: Mar. 01, 2022. [Online]. Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/007574/Metodologiaconfort.pdf>
- [34][34] S. Campuzano-Fernández and V. Martínez-granados, *La experiencia: requisito para la visibilidad, la divulgación y el impacto de la investigación*, no. January. Bogotá, 2018. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/330761489_Aproximacion_a_la_Zonificacion_Bioclimatica_de_Cundinamarca

- [35][35] O. Cecilia González, “Metodología para el Calculo del Confort Climático en Colombia”.
- [36][36] M. y E. A. (IDEAM) Instituto de Hidrología, “CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS ,” 2018. Accessed: Feb. 01, 2022. [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADstic+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- [37][37] O. Cecilia González and S. De Meteorología, “Metodología para el Calculo del Confort Climático en Colombia”.
- [38][38] M. F. Carreño *et al.*, “Dengue in Santander State, Colombia: fluctuations in the prevalence of virus serotypes are linked to dengue incidence and genetic diversity of the circulating viruses,” *Tropical Medicine & International Health*, vol. 24, no. 12, pp. 1400–1410, Dec. 2019, doi: 10.1111/TMI.13311.
- [39][39] M. J. Varas-Muriel and R. Fort, “Microclimatic monitoring in an historic church fitted with modern heating: Implications for the preventive conservation of its cultural heritage,” *Build Environ*, vol. 145, pp. 290–307, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2018.08.060.