

SIMULACIONES AMBIENTALES PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES EN DISEÑO DE ALOJAMIENTOS TEMPORALES EN CLIMAS TROPICALES

Sara Luciani M.

Universidad Piloto de Colombia. Bogotá (Colombia)

Facultad de Arquitectura y Artes. Grupo de investigación "Hábitat, diseño e infraestructura"

Luciani M., S. (2014). Simulaciones ambientales para la selección de materiales en diseño de alojamientos temporales en climas tropicales. *Revista de Arquitectura*, 16, 96-104. doi: 10.41718/RevArq.2014.16.1.11



<http://dx.doi.org/10.41718/RevArq.2014.16.1.11>

Sara Luciani M.

Arquitecta, Universidad Piloto de Colombia.

Maestría en Gestión Urbana, Universidad Piloto de Colombia.

Investigadora, Universidad Piloto de Colombia.

Becaria del programa jóvenes investigadores de Colciencias, Bogotá, Colombia, 2012-2013.

Publicaciones:

(2010). Sistema H.O.M.E. Sistema de hábitat organizado móvil de emergencia. *Replanteo*, 10, 30-32.

(2012). Análisis de variables para el estudio de antecedentes como aproximación metodológica para la identificación de insumos de diseño aplicado a alojamientos temporales. *Revista Alarife*, 23 (2012). *Manual de implementación de herramientas digitales para el diseño sostenible*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.

(2014). Análisis de antecedentes de forma y función para la identificación de criterios de diseño aplicado al diseño de alojamientos temporales. *Revista Iconofacto*, 9 (13), 27-45.

sara-luciani@unipiloto.edu.co

INTRODUCCIÓN

Este artículo se desarrolla en el marco de la investigación denominada Sistema H.O.M.E. (Hábitat Organizado Móvil de Emergencia), en curso desde el año 2012, financiada por la Universidad Piloto de Colombia y Colciencias (bajo la convocatoria de jóvenes investigadores 2012 y la convocatoria de desarrollo tecnológico 2014-2015), que tiene como objetivo diseñar un sistema constructivo adecuado para alojar temporalmente afectados por desastres naturales, para lo cual se proyectó un estudio de antecedentes desde unas variables marco definidas como gestión, temporalidad y tecnología (Luciani, 2012), y desde la forma y la función (Luciani, 2013a) que, en términos arquitectónicos, dieron paso a las determinantes de diseño con las cuales se proyectó la primera propuesta a nivel de esquema básico del sistema.

El diseño del sistema mencionado (Luciani, 2013b) permitió un desarrollo a cuatro escalas partiendo de una unidad constructiva mínima con capacidad para albergar a una persona; la segunda escala, el módulo básico, que puede albergar de 4 a 6 personas; un módulo de infraestructura con capacidad para soportar 16 módulos de alojamiento, y una unidad de agrupación compuesta por dos módulos de infraestructura y sus respectivos módulos de alojamiento temporal.

No obstante, una vez definida la propuesta de diseño, se identificó la importancia de una rigurosa selección de materiales ya que, como afirman Flórez y Castro-Lacouture (2013) y Jahan y Edwards (2013), una apropiada selección de materiales puede ayudar a reducir la energía embebida en una edificación, las emisiones de dióxido de carbono, la energía empleada en el proceso de producción, el impacto ambiental en el ciclo de vida, el consumo de energía y el deterioro en la calidad del aire, entre otros.

Por tanto, se propuso una metodología de selección de materiales (Luciani, 2013b) basada en la guía verde de Anderson, Shiers y Steele (2009), en la cual, por medio de matrices de evaluación y teniendo en cuenta los parámetros de análisis de ciclo de vida (Life Cycle Assessment - LCA) de los materiales, se definieron variables con puntajes por cada elemento del sistema, tales como envolvente, estructura, cimentación o cubierta, con el fin de evaluar cuáles materiales tenían mejor desempeño en relación con su rol en el sistema.

RESUMEN

Con el fin de mitigar el impacto que causa la pérdida del hogar debido a los constantes eventos naturales, se propone el diseño de un sistema constructivo adecuado que permita el alojamiento temporal de los afectados; para esto, se desarrollaron una serie de simulaciones ambientales con medios digitales, que permitieron conocer el desempeño térmico de materiales seleccionados previamente según lineamientos del Life Cycle Assessment (LCA), en relación con los componentes de edificio como cimentación, estructura, envolvente y cubierta, en climas tropicales, aplicado a Bogotá y Girardot. Asimismo, se explora la relación entre los materiales con cuatro configuraciones de diseño y siete tipos de ventilación, a fin de obtener una respuesta multidimensional y sostenible. Como resultado se encontró que materiales como guadua, fibras vegetales y fibras sintéticas, sumado a estrategias de aislamiento y configuraciones de ventilación, pueden aportar al confort térmico en el diseño de alojamientos temporales en el contexto colombiano.

PALABRAS CLAVE: confort, clima tropical, hábitat transitorio, modelación, sostenibilidad, vivienda temporal.

ENVIRONMENTAL SIMULATIONS FOR MATERIAL SELECTION IN TEMPORARY HOUSING DESIGN IN TROPICAL WEATHER CONDITIONS

ABSTRACT

In order to mitigate the impact caused by the loss of home due to the constant natural events that take place, this proposal gives a proper building system design that allows temporary housing for the affected. In this regard, there was a number of environmental simulations with digital media technology, which gave insights on the thermal performance of the material previously selected according to Life Cycle Assessment (LCA) guidelines, regarding building components such as the foundations, structure, envelope and roof, in tropical weather. The simulations were applied in the cities of Bogota and Girardot.

Likewise, there is an exploration of the relation between the materials with four different design configurations and seven types of ventilation, in order to obtain a multidimensional and sustainable answer. Findings show that materials such as guadua, vegetable fibers, and synthetic fibers, joint with isolation strategies and ventilation configurations, could contribute to thermal comfort in the temporary housing design within the Colombian context.

KEY WORDS: Comfort, tropical weather, transitory habitat, modelling, sustainability, temporary housing.

Recibido: noviembre 7/2013

Evaluado: octubre 6/2014

Aceptado: octubre 24/2014

Como resultados se encontró que para el componente de edificio de cimentación y estructura, los materiales con mejor desempeño son las maderas, la guadua y el aluminio, puesto que dichos materiales cumplen con el uso de capacidad portante, son fáciles de transportar, tienen un bajo índice de peso/densidad, durabilidad, posibilidad de reciclaje y reutilización y, demás, especificaciones que responden al carácter temporal del tipo de edificación.

En relación con el componente de envolvente, los materiales que resultaron adecuados para la función de envolvente fueron los textiles y las fibras vegetales. Asimismo, para el último componente de edificio, la cubierta, los resultados apuntan a los textiles vegetales y las fibras vegetales y sintéticas.

No obstante los resultados obtenidos a través de esta metodología —basados en lineamientos de LCA—, en la búsqueda por contribuir a mitigar el impacto ambiental se consideró necesario el desarrollo de una etapa de simulaciones ambientales a fin de conocer el desempeño térmico de los mismos con miras al diseño de un sistema constructivo multidimensional enfocado en la sostenibilidad y amable con el ambiente.

METODOLOGÍA

Algunos autores como Mahdjoubi y Wiltshire (2001), y Bleil de Souza (2012), consideran las simulaciones como un método creíble para predecir futuros entornos, especialmente en evaluaciones de edificios y contextos, ya que a través de esta herramienta es posible generar imágenes que emulan escenas u objetos de la vida real permitiendo especular sobre eventos o proyectos futuros; en este caso, se simulan el desempeño térmico, ambiental y los flujos de vientos de una edificación facilitando la toma de decisiones.

Asimismo, autores como Bleil de Souza (2013) y Peuportier, Thiers y Guiavarch (2013) reconocen la importancia de conocer el desempeño térmico de una edificación a través de simulaciones y herramientas digitales apoyando la toma de decisiones en la selección de materiales que aportan a la mitigación del impacto ambiental y a la búsqueda del confort térmico.

Del mismo modo, investigaciones como las desarrolladas por Crawford, Manfield y McRobie (2005), Borge, Colmenar, Mur y Castro (2013) y Hany (2013), resaltan la pertinencia de estudios sobre el confort, sistemas pasivos de climatización y simulaciones en relación con el diseño de alojamientos de emergencias, ya que, aunque este tipo de edificaciones deberían ser durables, de bajo costo y confortables, la falta de instalación o energía no permite que estos alojamientos sean climatizados dando lugar a condiciones de discomfort.

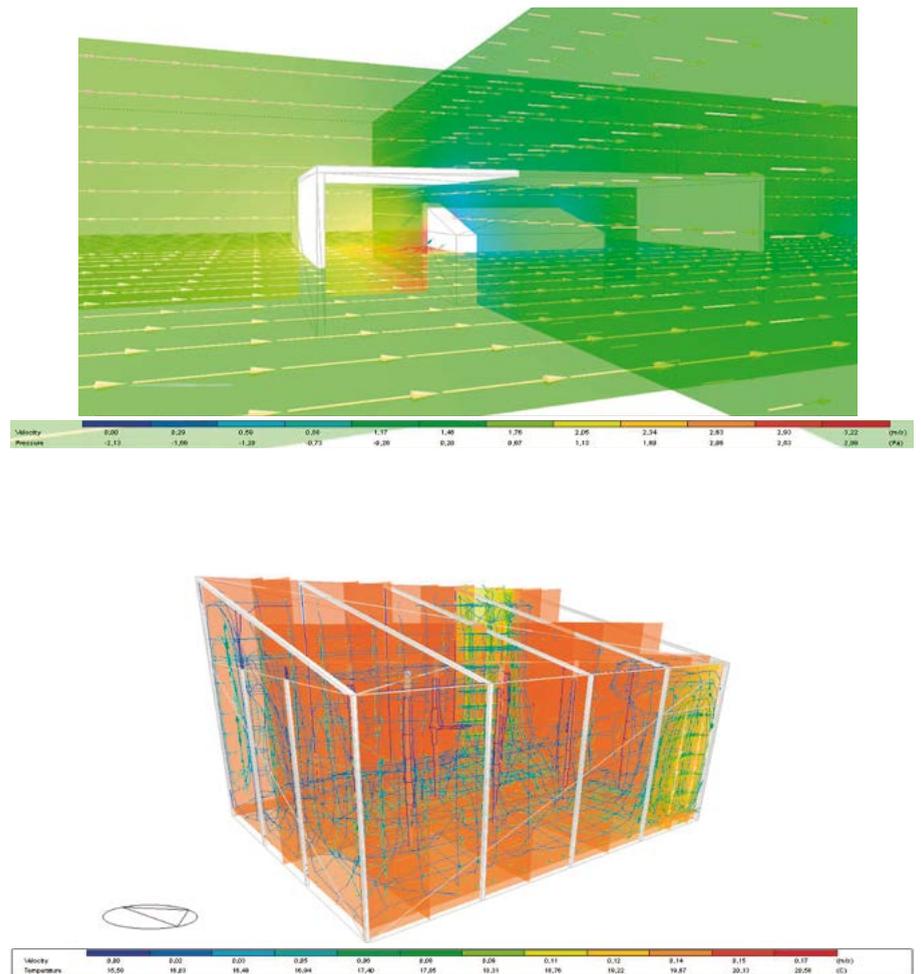


Figura 1. Imagen de CFD externo e interno del modelo básico de alojamiento temporal realizado para Girardot el 21 de julio
Fuente: elaboración propia.

En ese sentido, se realizaron las simulaciones como una herramienta para la visualización de datos y se llevaron a cabo análisis computacional de dinámica de fluidos interno y externo, denominado CFD (por sus siglas en inglés); ya que como lo afirman Borge *et al.* (2013), el CFD interno sirve para evaluar el confort térmico al interior del edificio bajo los parámetros de confort establecidos por Design Builder (2013), mientras con el CFD externo se puede identificar velocidad del aire, presión y temperaturas alrededor del edificio permitiendo optimizar la ubicación del mismo en relación con el emplazamiento (figura 1).

Estos análisis se proyectaron para dos tipos diversos de clima en relación con el contexto colombiano: un clima frío, para lo cual se seleccionó el caso de Bogotá, y otro cálido, como Girardot; no obstante, en los dos casos se analizaron previamente los datos climáticos a fin de identificar el escenario de temperaturas extremas, para lo cual se realizaron simulaciones diarias en intervalos horarios (para Girardot el día 21 de julio y para Bogotá el día 27 de marzo).

Tales simulaciones se llevaron a cabo por medio de un *software* denominado Design Builder, que funciona como una interfaz para los análisis realizados con Energy Plus (2013), que es un *software* de código abierto sin interfaz gráfica publicado por el U.S. Department of Energy, con el cual se obtienen análisis térmicos y CFD en

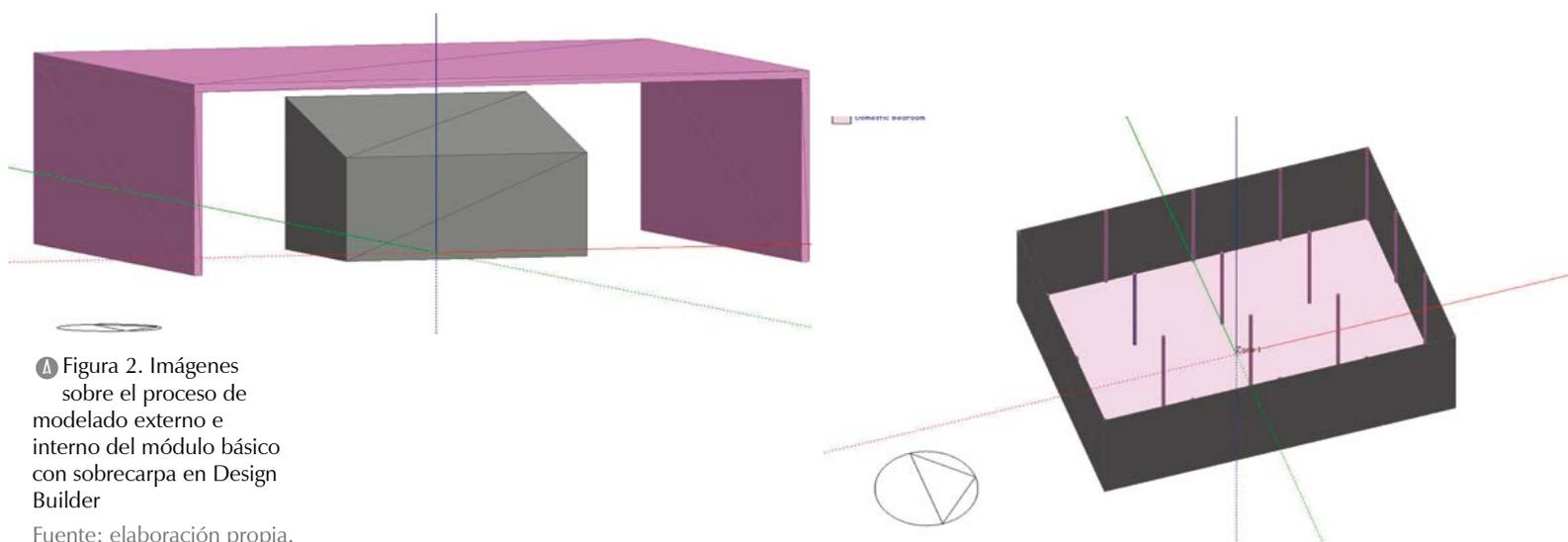


Figura 2. Imágenes sobre el proceso de modelado externo e interno del módulo básico con sobrecarpa en Design Builder

Fuente: elaboración propia.

Modelo	Materiales		
	Estructura	Envolvente	Cubierta
Modelo 1	Maderas procesadas	Fibras vegetales lonas	Fibras vegetales lonas
Modelo 2	Maderas procesadas	Textiles fibras animales	Fibras vegetales lonas
Modelo 3	Maderas procesadas	Textiles vegetales yute	Fibras vegetales lonas
Modelo 4	Maderas procesadas	Fibras vegetales lonas	Fibras sintéticas
Modelo 5	Maderas procesadas	Textiles fibras animales	Fibras sintéticas
Modelo 6	Maderas procesadas	Textiles vegetales yute	Fibras sintéticas
Modelo 7	Maderas procesadas	Fibras vegetales lonas	Textiles vegetales yute
Modelo 8	Maderas procesadas	Textiles fibras animales	Textiles vegetales yute
Modelo 9	Maderas procesadas	Textiles vegetales yute	Textiles vegetales yute
Modelo 10	Guadua	Fibras vegetales lonas	Fibras vegetales lonas
Modelo 11	Guadua	Textiles fibras animales	Fibras vegetales lonas
Modelo 12	Guadua	Textiles vegetales yute	Fibras vegetales lonas
Modelo 13	Guadua	Fibras vegetales lonas	Fibras sintéticas
Modelo 14	Guadua	Textiles fibras animales	Fibras sintéticas
Modelo 15	Guadua	Textiles vegetales yute	Fibras sintéticas
Modelo 16	Guadua	Fibras vegetales lonas	Textiles vegetales yute
Modelo 17	Guadua	Textiles fibras animales	Textiles vegetales yute
Modelo 18	Guadua	Textiles vegetales yute	Textiles vegetales yute
Modelo 19	Aluminio	Fibras vegetales lonas	Fibras vegetales lonas
Modelo 20	Aluminio	Textiles fibras animales	Fibras vegetales lonas
Modelo 21	Aluminio	Textiles vegetales yute	Fibras vegetales lonas
Modelo 22	Aluminio	Fibras vegetales lonas	Fibras sintéticas
Modelo 23	Aluminio	Textiles fibras animales	Fibras sintéticas
Modelo 25	Aluminio	Fibras vegetales lonas	Textiles vegetales yute
Modelo 26	Aluminio	Textiles fibras animales	Textiles vegetales yute
Modelo 27	Aluminio	Textiles vegetales yute	Textiles vegetales yute

Tabla 1. Configuración de materiales en relación con el componente de edificio, definiendo 27 modelos para las simulaciones de confort térmico en Design Builder

Fuente: elaboración propia.

gráficos de curvas de temperaturas e imágenes de vectores con los flujos de vientos.

Por otra parte, se configuraron 27 modelos diversos por simular a partir de los resultados obtenidos con la metodología para selección de materiales mencionados en Luciani (2013b), teniendo en cuenta los tres materiales con mejor desempeño por componente de edificio, sea cimentación, estructura, envolvente y cubierta, según los lineamientos LCA, con los cuales se llevaron a cabo varias etapas de análisis en relación con el diseño y la ventilación (tabla 1).

En relación con el diseño se proyectaron cuatro configuraciones además de la forma básica propuesta desde el esquema básico, donde se exploró con la inclusión de una “sobrecarpa” o elemento que protegiera de manera parcial o total al módulo de la radiación solar directa, y sobre configuraciones con aislamiento en la cubierta, pues como afirman Al-Homoud (2005), Kumar y Suman (2013), Budaiwi y Abdou (2013) y Papadopoulos (2005), el aislamiento no solo contribuye a reducir los requerimientos de sistemas de aire acondicionado y reduce el costo anual de energía, sino que además ayuda a extender los periodos de confort térmico sin dependencia de los sistemas mecánicos de ventilación, especialmente durante los periodos interestaciones, y tiene propiedades para absorber el ruido.

Asimismo, se exploraron diversos tipos de materiales naturales para el aislamiento, pues el uso de materiales orgánicos tiene como ventajas no solo un bajo valor de conductividad térmica, sino también el carácter natural de las fibras de entrada que puede tener mejores características técnicas térmicas (Zach, Hroudová, Brožovský, Krejza y Gailius, 2013). Otra ventaja es que al ser un material renovable no supone ninguna tensión significativa en el ambiente.

Para la selección de materiales de aislamiento se realizó una revisión de algunos autores como Briga-Sá, Nascimento, Teixeira, Pinto, Caldeira et al. (2013),

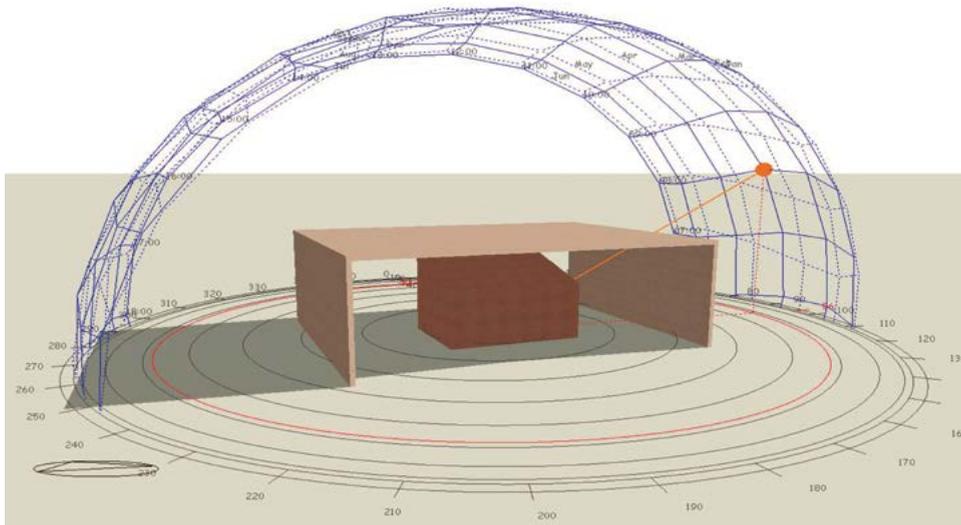


Figura 3. Imagen del diagrama solar con la trayectoria del sol anual sobre modelo básico con sobrecarpa
Fuente: elaboración propia.

Zhou, Zheng, Li y Lu (2010), Korjenic, Petráněk, Zach y Hroudová (2011), Jelle (2011) y Zach, Korjenic, Petráněk, Hroudová y Bednar (2012), que mencionan estudios con diversos tipos de materiales aislantes orgánicos y la importancia del uso de los mismos; basados en esto, se llevaron a cabo algunas configuraciones con aislamiento que fueron puestas a prueba a través de simulaciones, donde la de mejor desempeño se aplicó a las simulaciones de los 27 modelos.

Una vez realizadas las simulaciones de los 27 modelos con los cuatro tipos de configuraciones de diseño, se evaluó cuál de estas tenía mejor desempeño térmico, dando paso a la etapa de análisis en términos de flujos de aire a través de siete tipos de ventilación en relación con la ubicación de las aberturas en el módulo con respecto a la dirección de los vientos predominantes.

DESARROLLO

En cuanto a la definición de los 27 modelos para el desarrollo de las simulaciones, se hicieron las configuraciones a partir de los componentes de edificio, estructura, envolvente y cubierta; y de los materiales con mejor desempeño según la selección de los mismos basada en los lineamientos LCA. No obstante, cabe mencionar que para las simulaciones no se consideró la cimentación ya que esta se encontraba fuera de la zona de datos de simulación.

Las configuraciones de materiales se aplicaron al módulo básico, modelado en Design Builder como una zona única cerrada, complementada por la estructura entendida como componentes que tienen incidencia en los cálculos térmicos y de vientos (figura 2).

En relación con las cuatro configuraciones de diseño que se derivan de la configuración básica, que no incluye ningún elemento externo, de aislamiento o de abertura, se denominó a la primera como configuración de apertura, a la segunda

Materiales			
Aislamiento	Capa interna	Capa intermedia	Capa externa
Aislamiento 1	Textil	Corcho	Textil
Aislamiento 2	Textil	Lana	Textil
Aislamiento 3	Textil	Aserrín	Textil
Aislamiento 4	Textil	Fibra de coco	Textil
Aislamiento 5	Yute	Corcho	Yute
Aislamiento 6	Yute	Lana	Yute
Aislamiento 7	Yute	Aserrín	Yute
Aislamiento 8	Yute	Fibra de coco	Yute
Aislamiento 9	Lana	Corcho	Lana
Aislamiento 10	Lana	Lana	Lana
Aislamiento 11	Lana	Aserrín	Lana
Aislamiento 12	Lana	Fibra de coco	Lana

configuración de sobrecarpa, a la tercera configuración de aislamiento, y a la cuarta como configuración de sobrecarpa y aislamiento.

La primera configuración tiene como característica la apertura de una franja en la parte superior tanto de la fachada frontal como de la fachada posterior, favoreciendo el paso del aire y generando ventilación cruzada.

La segunda configuración se proyectó como una segunda capa que cubre el módulo parcialmente, un elemento opaco que bloquea el paso de la radiación solar directa, lo que permite a su vez reducir la temperatura interna favoreciendo el confort principalmente en climas cálidos; el diseño favorece el paso de la ventilación natural y se dimensionó en relación con la trayectoria solar (figura 3).

La tercera configuración de diseño se compone de un aislamiento adherido a la cubierta; no

Tabla 2. Configuraciones de tipos de aislamiento con diversos materiales según si se encuentran en la capa interior, exterior o intermedia, para la posterior aplicación en las simulaciones de confort interno
Fuente: elaboración propia.

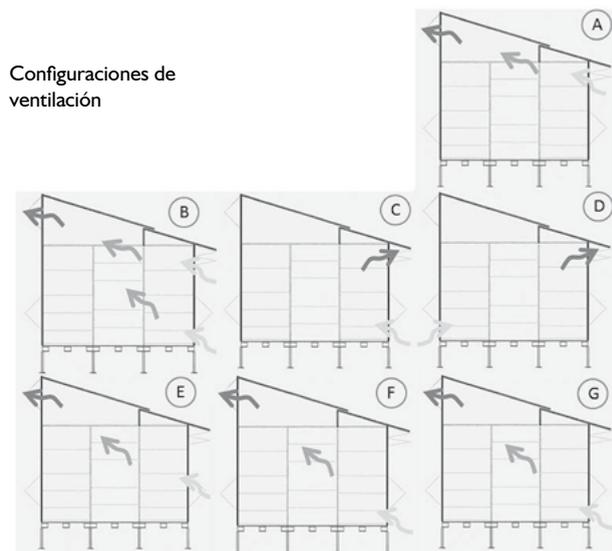


Figura 4. Imágenes de las diversas configuraciones de ventilación y flujos de aire resultantes según la ubicación de la abertura en el modelo básico de alojamiento temporal. Fuente: elaboración propia.

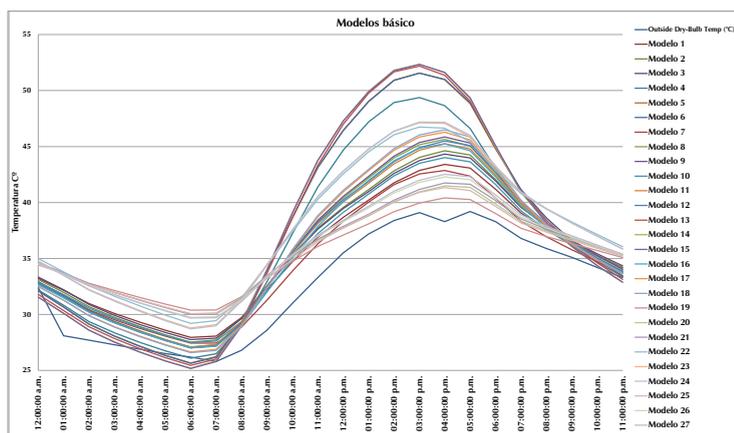


Figura 5. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo básico en Girardot. Fuente: elaboración propia.

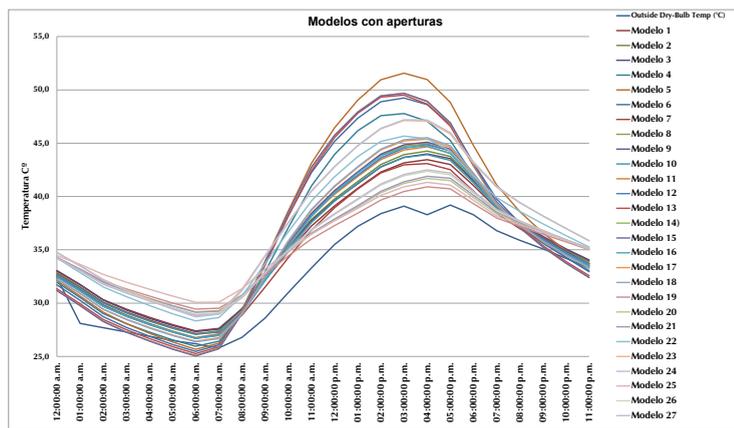


Figura 6. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con aperturas en Girardot. Fuente: elaboración propia.

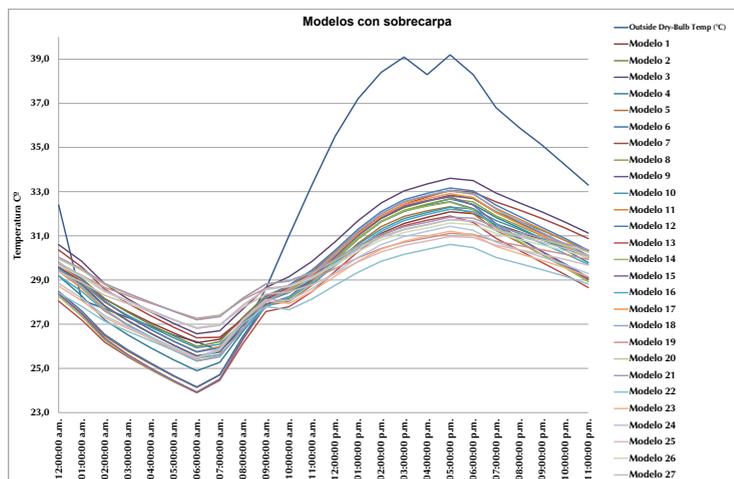


Figura 7. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con sobrecarpa en Girardot. Fuente: elaboración propia.

obstante, para definir el tipo de aislamiento fue necesario plantear doce diversas configuraciones entre materiales naturales como textil, corcho, lana, aserrín, fibra de coco y yute (tabla 2), simulando el comportamiento de estas; se encontró que la mejor configuración estaba compuesta por una capa interna y externa de yute, de 2 mm de espesor, seguida de una capa intermedia de aserrín, de 5 mm.

La última configuración se vale de la unión del elemento sobrecarpa y aislamiento, retomando el bloqueo de la radiación solar directa, el paso de la ventilación natural y los beneficios del aislamiento con materiales naturales en la búsqueda del confort térmico con estrategias pasivas, contribuyendo a mitigar el impacto ambiental.

En cuanto a las operaciones de ventilación, se propusieron siete configuraciones diversas en relación con la ubicación de las aberturas en las fachadas frontal y posterior (figura 4), teniendo en cuenta también las dimensiones de estas con una primera abertura de 60 x 120 cm, una segunda de 60 x 240 cm, una tercera de 60 x 360 cm y una cuarta de 60 x 480 cm, con el fin de generar diversos flujos de ventilaciones cruzadas.

RESULTADOS

CLIMA CÁLIDO

Para el caso de clima cálido, aplicado a Girardot, las simulaciones realizadas sobre el modelo básico inicial sin ninguna configuración de diseño aún, proyectaron temperaturas por encima de la temperatura externa de bulbo seco en los 27 modelos (figura 5); sin embargo, el modelo 7, compuesto de estructura en maderas procesadas, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en textiles vegetales-yute, presentó la menor diferencia con un promedio de 2,2 °C por encima de la temperatura de bulbo seco.

Así, los resultados de las simulaciones del módulo básico se convierten en el punto de comparación con las configuraciones de diseño como estrategias en la búsqueda del confort térmico, que en clima cálido buscaron la disminución de temperaturas al interior del módulo.

Sin embargo, no todas las estrategias demostraron mejoras en el confort térmico, como es el caso de la configuración de aperturas, que proyectó datos similares al módulo básico (figura 6), donde los 27 modelos presentaron temperaturas internas superiores a la externa, y nuevamente el modelo 7 presentó una diferencia promedio de 2,3 °C por encima de la temperatura de bulbo seco.

Por su parte, la implementación de un elemento de sombreado, como se presentó en la configuración de sobrecarpa (figura 7), sí proporcionó

un efecto positivo sobre la temperatura interna del módulo básico.

En este caso, los 27 modelos presentaron disminución de temperaturas, con curvas por debajo de la temperatura de bulbo seco, y diferencias promedio desde 2,2 hasta 4,2 °C por debajo de la temperatura externa como el modelo 13, con una configuración de estructura en guadua, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en fibras sintéticas; y el modelo 22, compuesto por una estructura en aluminio, envolvente en fibras vegetales-lona y cubierta en fibras sintéticas.

Lo anterior demuestra la importancia de reducir la radiación solar directa, que puede transformarse en calor sobre el módulo en clima cálido, con el fin de disminuir la temperatura interna.

En relación con el aislamiento, aunque se presentó disminución de temperaturas con respecto al modelo básico y a la configuración de apertura (figura 8), las diferencias no fueron tan notorias como en el caso de la configuración de sobrecarpa.

En este caso, solo dos modelos presentaron parcialmente temperaturas por debajo de la temperatura de bulbo seco: el modelo 19, compuesto por estructura en aluminio, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en fibras vegetales-lonas; y el modelo 25, compuesto por estructura en aluminio, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en textiles vegetales-yute.

Por otra parte, la cuarta configuración, que contempla la sobrecarpa y el aislamiento (figura 9), presentó diferencias de temperaturas por debajo de la temperatura de bulbo seco mayores que en la configuración con aislamiento y menores que en la configuración con sobrecarpa.

En este caso, los modelos que presentaron mayores diferencias fueron el 13, con una configuración de estructura en guadua, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en fibras sintéticas; y el 22, que contempla la estructura en aluminio, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en fibras sintéticas.

Los demás modelos indican diferencias de temperaturas internas desde 2,2 a 3,0 °C por debajo de la temperatura de bulbo seco, mostrando así que la configuración que sigue dando mejores resultados es la que contempla el elemento de sobrecarpa, el cual bloquea la radiación solar directa en el módulo.

En cuanto a la configuración de materiales, las simulaciones indicaron que el modelo 13, compuesto por estructura en guadua, envolvente en fibras vegetales-lonas y con cubierta en fibras sintéticas, es el que presenta mejor desempeño en términos de temperatura, razón por la cual se seleccionó para el desarrollo de las simulaciones de ventilación.

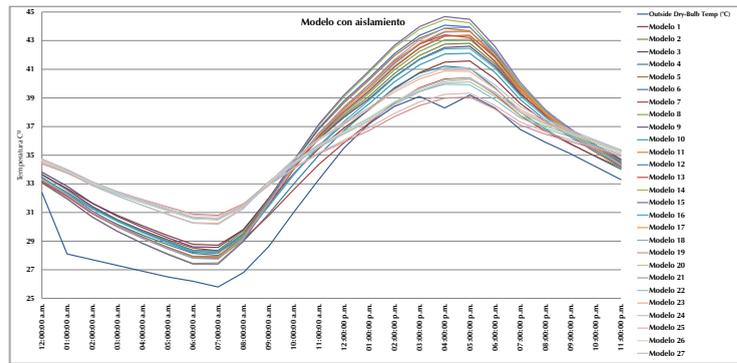


Figura 8. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con aislamiento en Girardot

Fuente: elaboración propia.

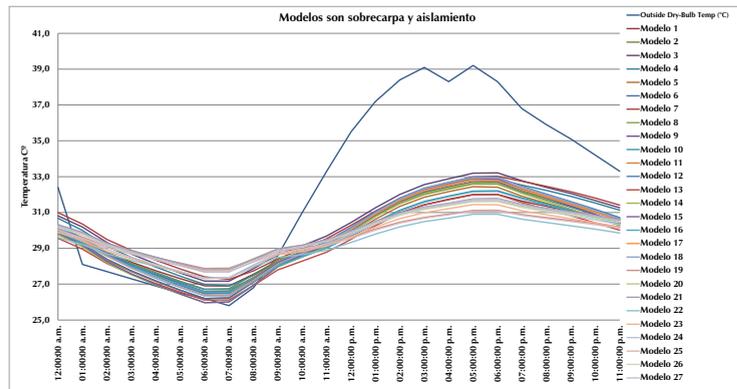


Figura 9. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con aislamiento y sobrecarpa en Girardot

Fuente: elaboración propia.

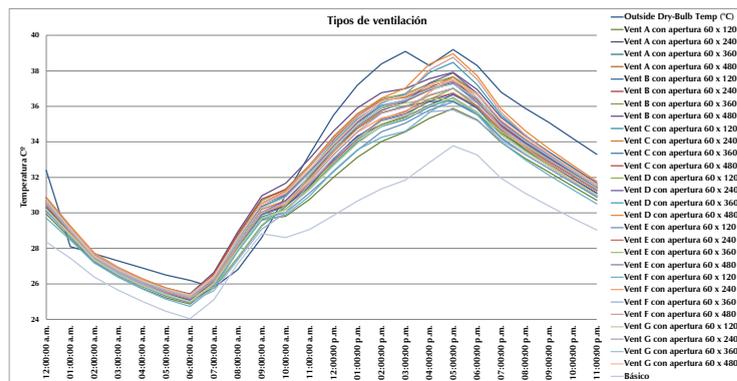


Figura 10. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con configuraciones de ventilación en Girardot

Fuente: elaboración propia.

En las simulaciones de ventilación se presentan mejores resultados en el modelo básico que no contempla ninguna apertura (figura 10), demostrando que la ventilación en este caso no contribuye a reducir la temperatura interna.

CLIMA FRÍO

Para el caso de clima frío, aplicado a Bogotá, el modelo básico demostró en las simulaciones mejor desempeño que en clima cálido (figura 11); así, los modelos que evidenciaron mejor desempeño fueron el 19, compuesto por estructura en aluminio, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en fibras vegetales-lonas, mostrando un aumento de temperatura interior de 4,8 °C sobre la temperatura de bulbo; y el modelo 25, compuesto por estructura en aluminio, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en textiles vegetales-yute.

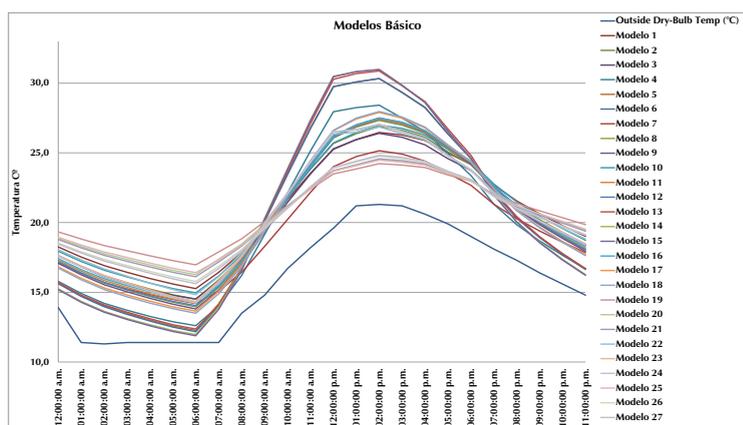


Figura 11. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo básico en Bogotá

Fuente: elaboración propia.

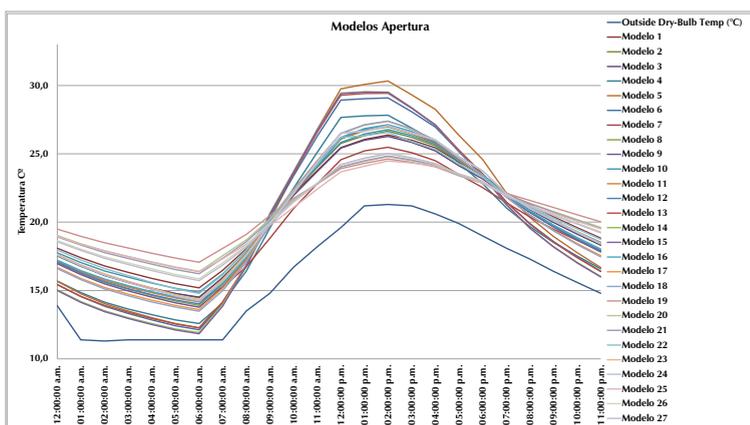


Figura 12. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con aperturas en Bogotá

Fuente: elaboración propia.

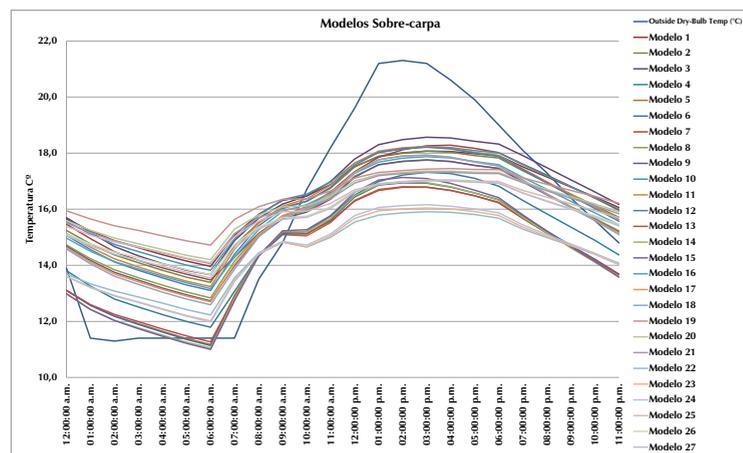


Figura 13. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con sobrecarpa en Bogotá

Fuente: elaboración propia.

Al igual que en los análisis de clima cálido, la configuración de apertura presenta tendencias similares a la configuración básica (figura 12), en este caso se evidencia aumento en la temperatura interna por encima de la curva de temperatura de bulbo seco, lo cual se considera positivo en relación con las bajas temperaturas de Bogotá.

En esta configuración, nuevamente los modelos que presentan mejor desempeño son el 19 y el 25, que en este caso indican una diferencia promedio de temperatura mayor que la anterior, con un aumento de 5 y 4,6 °C sobre la curva de temperatura de bulbo seco.

A diferencia de los modelos en clima cálido, la configuración de sobrecarpa para clima frío no dio resultados positivos (figura 13), ya que bloquear el paso de radiación solar directa sobre el módulo contribuye a disminuir aún más la temperatura, como se evidencia en las curvas de temperatura.

Los resultados de las simulaciones evidencian que todos los modelos se encuentran parcialmente por debajo de la curva de temperatura de bulbo seco, con temperaturas muy bajas que generan disconfort, razón por la cual se descarta esta estrategia que resultó muy práctica para clima cálido.

La estrategia de aislamiento, por su parte, resultó favorable en la medida que permite mantener temperaturas más altas, conservar el calor que se recibe por radiación solar —ya sea directa o indirecta—, y, además, permite que las transmisiones de temperaturas sean en lapsos de tiempo más largos, evitando el estrés térmico (figura 14).

En este caso, los modelos que presentaron mejor desempeño fueron nuevamente el modelo 19 y el 25, esta vez con 5,2 y 5,1 °C de diferencia promedio por encima de la temperatura de bulbo seco, lo cual ubica tales modelo en un rango muy cercano al confort.

La última estrategia, que contempla el aislamiento y la configuración de sobrecarpa (figura 15), no dio resultados positivos en la medida en que genera temperaturas muy bajas que se encuentran fuera del rango de confort.

En cuanto a la configuración de materiales, las simulaciones indicaron que el modelo 19, compuesto por estructura en aluminio, envolvente en fibras vegetales-lonas y cubierta en fibras vegetales-lonas, es el que presenta mejor desempeño en términos de temperatura, razón por la cual se seleccionó para el desarrollo de las simulaciones de ventilación.

Las simulaciones de ventilación proyectaron un aumento considerable de la temperatura de bulbo seco en todos los casos (figura 16); sin embargo, la configuración que presenta mejores resultados corresponde a la tipo G, con dimensiones de 60 x 120 cm, con aberturas en la parte inferior de la fachada frontal y en la parte superior de la fachada posterior, favoreciendo el intercambio de aire con ventilación cruzada.

DISCUSIÓN

Este proceso de investigación permitió, a través del ejercicio de las simulaciones ambientales, establecer cuáles materiales presentaban mejor desempeño térmico, según el tipo de clima: cálido o frío; sin embargo, este ejercicio evidencia

discusiones sobre el uso de simulaciones ambientales en los procesos de diseño.

Por una parte, las simulaciones presentan un escenario real sobre el funcionamiento o desempeño de materiales, lo que permite prever problemas y anticipar soluciones; no obstante, se cuestiona sobre los archivos de datos con los que operan los *software* de simulaciones ambientales, en la medida en que no se encuentran a la vanguardia de los últimos estándares de la industria de construcción de simulación.

En ese sentido, los archivos de clima con los cuales se corren las simulaciones, que son compilados de datos climáticos estadísticos—hasta el año 2002 en el caso de Design Builder—, no tienen en cuenta, como lo mencionan Jentsch, Bahaj y James (2008), los impactos potenciales del cambio climático, ni los riesgos de sobrecalentamiento en verano.

Estas diferencias en los archivos climáticos podrían tener incidencia en la precisión de las simulaciones, lo que sugiere tener en cuenta las tendencias de las curvas, más que las diferencias en términos de grados centígrados que puedan variar en relación con los cambios climáticos de los últimos años.

Esto sugiere que para corroborar los datos obtenidos a través de simulaciones ambientales es pertinente proponer una etapa de mediciones en un prototipo a escala en el sitio, bajo condiciones reales, con el fin de conocer los comportamientos reales y verificar la confiabilidad de las simulaciones.

Por otra parte, estos análisis sacan a la luz discusiones sobre el grado de confort en alojamientos temporales y la relación del confort con su carácter temporal, ya que, como lo menciona Ban (2008), según las Naciones Unidas, el diseño de viviendas confortables puede animar a los refugiados a instalarse de manera permanente y esto es algo que se quiere evitar; visto de otra manera, el confort puede llevar a generar sentido de apropiación por los usuarios dándole un carácter de permanente al sistema.

En este sentido, y aunque no es claro en qué medida el confort puede ser un detonante para el cambio de un sistema de alojamiento temporal a permanente, se debe aclarar que es necesario tener en cuenta el confort como una de las determinantes de diseño y que deben ofrecerse a los usuarios unas condiciones dignas que ayuden a mitigar el impacto de la pérdida del hogar y de las reubicaciones temporales.

En ese orden de ideas, es válido y útil el uso de herramientas digitales que permitan prever las condiciones ambientales reales ayudando en la toma de decisiones en el proceso de diseño, apli-

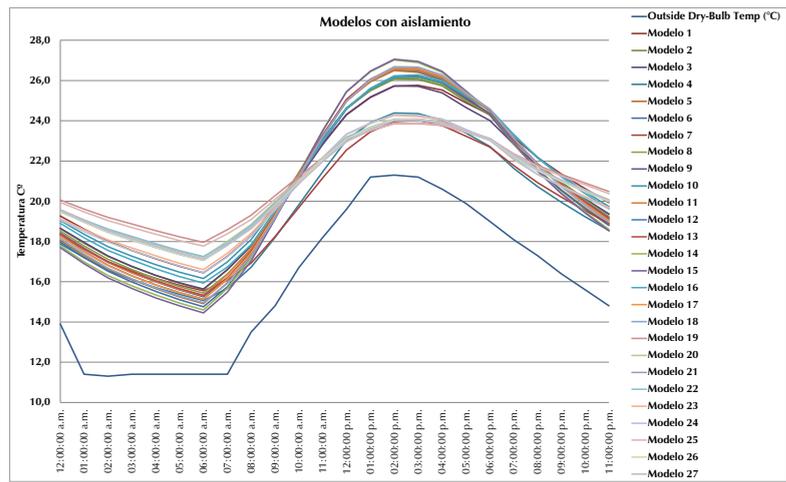


Figura 14. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con aislamiento en Bogotá

Fuente: elaboración propia.

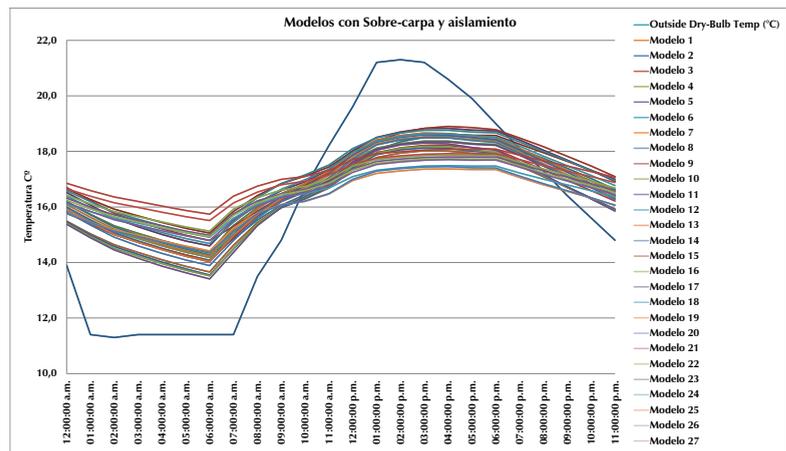


Figura 15. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con sobrecarpa y aislamiento en Bogotá

Fuente: elaboración propia.

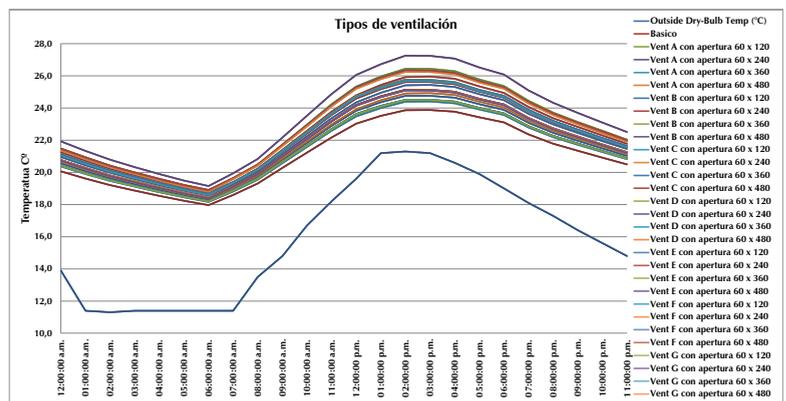


Figura 16. Resultados de las simulaciones de confort con las 27 configuraciones de materiales en el modelo con configuraciones de ventilación en Bogotá

Fuente: elaboración propia.

cado en este caso a la selección de materiales, no solo con el fin de lograr niveles de confort térmico, sino aportando a la conservación del ambiente, con procesos de bajo impacto como LCA y acordes al contexto colombiano.

CONCLUSIONES

El uso de simulaciones ambientales en este proyecto de investigación permitió realizar una selección de materiales con mejor desempeño térmico en relación con dos diversos tipos de clima—cálido y frío—, en el contexto colombiano, esto con

el fin de ofrecer confort a los usuarios del sistema de alojamiento temporal que se está diseñando.

Por otra parte, las simulaciones también permitieron comprobar cuáles de las estrategias de diseño y configuraciones de ventilación, dimensiones de aperturas y ubicación en relación con las fachadas, proporcionaron aportes en el confort térmico del sistema de alojamiento en los dos climas, mostrando la importancia de la sobrecarpa en el clima cálido y del aislamiento en el clima frío.

Asimismo, es importante resaltar la importancia, no solo de las simulaciones como una herramienta para la toma de decisiones en el proceso de diseño, sino la inclusión misma del LCA en una preselección previa, contemplando los aspectos ambientales, económicos, sociales y de desempeño ambiental que proporcionen soluciones multidimensionales acordes al contexto.

Así, la selección de materiales con bajo impacto ambiental a través de LCA, propuesta en la metodología expuesta inicialmente, y las simulaciones ambientales en la búsqueda de confort

térmico y ventilación adecuada se complementan en esta etapa, dando como resultado final materiales como guadua, fibras vegetales-lonas y fibras sintéticas para clima cálido; y aluminio y fibras vegetales-lonas para clima frío.

Es importante mencionar que, aunque se hicieron reducciones importantes de temperatura con las estrategias aplicadas a clima cálido, los rangos aún se encuentran por encima del rango de confort; por tanto, es necesario revisar otras estrategias como la inserción de ventilación nocturna, con el fin de reducir aún más las temperaturas y lograr confort térmico al interior del módulo.

Por último, la selección de materiales expuesta en este artículo requiere y da paso a una etapa de desarrollo técnico, en la medida en que se debe resolver cómo los distintos materiales seleccionados responden a las funciones de los diversos componente de edificio, complementándose y haciendo parte de un todo que es el sistema de alojamiento temporal para afectados por desastres naturales.

REFERENCIAS

- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, 40 (3), 353-366.
- Anderson, J., Shiers, D. y Steele, K. (2009). *The Green Guide to Specification* (Fourth edition). Great Britain: BRE and Oxford Brookes University.
- Ban, S. (2008). *Doce años de arquitectura de emergencia*. Barcelona: Actar.
- Bleil de Souza, C. (2012). Contrasting paradigms of design thinking: The building thermal simulation tool user v. the building designer. *Automation in Construction*, 22, 112-122.
- Bleil de Souza, C. (2013). Studies into the use of building thermal physics to inform design decision making. *Automation in Construction*, 30, 81-93.
- Borge, D., Colmenar, A., Mur, F. y Castro, M. (2013). Impact of passive techniques and clean conditioning systems on comfort and economic feasibility in low-cost shelters. *Energy and Buildings*, 62, 414-426.
- Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., et al. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, 38, 155-160.
- Budaiwi, I. y Abdou, A. (2013). The impact of thermal conductivity change of moist fibrous insulation on energy performance of buildings under hot-humid conditions. *Energy and Buildings*, 60, 388-399.
- Crawford, C., Manfield, P. y McRobie, A. (2005). Assessing the thermal performance of an emergency shelter system. *Energy and Buildings*, 37 (5), 471-483.
- Design Builder Software Ltd. (2013). Design Builder Software Ltd. Recuperado de: <http://www.designbuilder.co.uk>
- EnergyPlus (2013). EnergyPlus Energy Simulation. Recuperado de: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.
- Flórez, L. y Castro-Lacouture, D. (2013). Optimization model for sustainable materials selection using objective and subjective factors. *Materials & Design*, 46, 310-321.
- Hany Abulnour, A. (2013). The post-disaster temporary dwelling: Fundamentals of provision, design and construction. *HBRC Journal*, 10 (1), 10-24.
- Jahan y Edwards. (2013). The Importance of Decision Support in Materials Selection. En Edwards, A. J. *Multi-criteria Decision Analysis for Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design* (pp. 1-15). Boston: Butterworth-Heinemann.
- Jelle, B. P. (2011). Traditional state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*, 43 (10), 2549-2563.
- Jentsch, M. F., Bahaj, A. S. y James, P. A. (2008). Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, 40 (12), 2148-2168.
- Korjenic, A., Petránek, V., Zach, J. y Hroudová, J. (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*, 43 (9), 2518-2523.
- Kumar, A. y Suman, B. (January de 2013). Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate. *Building and Environment*, 59, 635-643.
- Luciani, S. (2012). Análisis de variables para el estudio de antecedentes como aproximación metodológica para la identificación de insumos de diseño aplicado a alojamientos temporales. *Alarife* (23), 34-59.
- Luciani, S. (2013a). Análisis de antecedentes de forma y función para la identificación de criterios de diseño aplicado al diseño de alojamientos temporales. *Iconofacto*, 9 (13), 27-45.
- Luciani, S. (2013b). Metodología para la selección de materiales aplicada al diseño de alojamientos temporales. Documento de trabajo.
- Mahdjoubi, L. y Wiltshire, J. (2001). Towards a framework for evaluation of computer visual simulations in environmental design. *Design Studies*, 22 (2), 193-209.
- Papadopoulos, A. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37 (1), 77-86.
- Peuportier, B., Thiers, S. y Guiavarch, A. (2013). Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 39, 73-78.
- Zach, J., Hroudová, J., Brožovský, J., Krejza, Z. y Gailius, A. (2013). Development of Thermal Insulating Materials on Natural Base for Thermal Insulation Systems. *Procedia Engineering*, 57, 1288-1294.
- Zach, J., Korjenic, A., Petránek, V., Hroudová, J. y Bednarr, T. (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy and Buildings*, 49, 246-253.
- Zhou, X.-y., Zheng, F., Li, H.-g. y Lu, C.-l. (2010). An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings*, 42 (7), 1070-1074.