

Lucas Arango Díaz
arango.diaz@gmail.com

Olga Lucía Montoya Flórez
olmontoy@usbmed.edu.co

Laura Rendón Gaviria
Laura.rendon@usbmed.edu.co

Luisa Fernanda Callejas Ochoa
luluisa8@gmail.com



E

strategias de iluminación natural en el
diseño de viviendas económicas: el
caso Mihouse, Solar Decathlon 2015

Natural lighting strategies in the design
of affordable housing: the Mihouse case,
Solar Decathlon 2015

Primera Versión recibida: 01 de Junio de 2018

Revisado: 15 de Junio de 2018

Versión final aprobada: 29 de Junio de 2018

Resumen

Este artículo describe el proceso de incorporación de iluminación natural en el prototipo Mihouse de Solar Decathlon 2015. Se evidencian las dificultades encontradas en el proceso de evaluación del desempeño lumínico, a partir de la métrica Daylight Factor aplicada en Cali, Colombia. El diseño de aberturas para garantizar niveles lumínicos óptimos resulta ser una estrategia fundamental para el diseño arquitectónico de vivienda de bajo presupuesto, principalmente si no se prevén sistemas de acondicionamiento térmico. Ante este panorama, la simulación computacional es un recurso indispensable para predecir el comportamiento lumínico.

Palabras claves: *Arquitectura, bioclimática, desempeño lumínico, Daylight Factor*

Abstract

In the design of low cost housing without air conditioned incorporated, the design of windows for guaranteeing adequate lighting levels seems to be an efficient architectonic strategy. In that context, computational simulation results to be an invaluable resource for predicting luminous performance. With the aim to obtain reliable and useful results in daylighting simulation, it's important, among other, to specify adequate sky types and to use correct metrics. This paper describes the daylight incorporation process into Solar Decathlon 2015's MIHOUSE prototype and evidences the difficulties founded in the daylight performance evaluation process by using Daylight Factor in the municipality of Cali, Colombia.

Key words: *Economic housing, Daylighting, solar decathlon, lighting performance*

Estrategias de iluminación natural en el diseño de viviendas económicas: el caso Mihouse, Solar Decathlon 2015

Natural lighting strategies in the design of affordable housing: the Mihouse case, Solar Decathlon 2015

Lucas Arango Díaz*
arango.diaz@gmail.com

133

Olga Lucía Montoya Flórez**
olmontoy@usbmed.edu.co

Laura Rendón Gaviria***
Laura.rendon@usbmed.edu.co

Luisa Fernanda Callejas Ochoa****
luluisa8@gmail.com

El prototipo de vivienda económica MIHOUSE, cuyas siglas en inglés significan Multi Intelligent House Using Solar Energy, se diseñó y construyó bajo las condiciones del trópico para el concurso internacional de vivienda Solar Decathlon 2015. Su propuesta de iluminación natural comprende un conjunto de estrategias para optimizar la iluminación natural.

La importancia de la luz natural en la arquitectura se refleja en la comodidad visual, la eficiencia energética y la salud. Apesar de que las exigencias lumínicas en viviendas no son altas y, por tanto, los niveles lumínicos requeridos muy bajos en comparación con otros espacios, en varias ocasiones no se satisfacen estos niveles con iluminación natural, lo que repercute en la necesidad de iluminación artificial.

Los beneficios y las ventajas psicofisiológicas de una adecuada iluminación natural en ambientes interiores han sido ampliamente registrados y reconocidos por diversos investigadores (Bouberki, 2008; Boubekri, 2014; Meek & Van den Wymelenberg, 2015). En

* Arq. Lucas Arango Díaz: Magíster en Arquitectura y Urbanismo con énfasis en comportamiento ambiental de espacios urbanos y edificaciones. Universidad de San Buenaventura, Medellín. Lucas.arango@usbmed.edu.co/lucas.arango.diaz@gmail.com

** Arq. Olga Lucía Montoya Flórez. Magíster en Arquitectura. Crítica y Proyecto. Magíster en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano. olmontoy@usbmed.edu.co

*** Arq. Laura Rendón Gaviria; Magíster en Arquitectura y Urbanismo con énfasis en comportamiento ambiental de espacios urbanos y edificaciones. Universidad de San Buenaventura, Medellín. Laura.rendon@usbmed.edu.co

**** Arq. Luisa Fernanda Callejas Ochoa. Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile. luluisa8@gmail.com

los casos en los que se incorporan estrategias para optimizar la iluminación natural en vivienda de bajo presupuesto localizada en el trópico, como es el caso del prototipo construido para el concurso Solar Decathlon 2015, los beneficios y las ventajas se han enfocado también en la posibilidad de disminuir el consumo energético asociado a la iluminación artificial. La eficiencia en la tecnología de las luminarias permite una mayor eficiencia energética; sin embargo, con el aprovechamiento de la iluminación natural se puede minimizar y hasta prescindir del uso de iluminación artificial en horario diurno (Monteoliva y Pattini, 2103).

De acuerdo con la International Energy Agency-IEA (2016), en el mundo el sector residencial consume aproximadamente el 23% del total de la energía. Para el caso de Colombia, el consumo de energía en los hogares representa el 16,72% de la energía total, ocupando el tercer lugar, después del sector transporte (40,9%) y el industrial (29,3%) (Ministerio de Minas y Energía, 2016). Del total del consumo residencia urbano, el 10-11% corresponde a iluminación artificial (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

Estas razones, sumadas al crecimiento precipitado de países en vía de desarrollo, lo que supone un incremento acelerado en la construcción de nuevas viviendas, deberían derivar en nuevos paradigmas de diseño arquitectónico que permitan complementar los

aspectos estéticos, morfológicos y programáticos que han reinado en el panorama arquitectónico mundial (Filippín, 2005), con aspectos energéticos y climáticos. Meek y Van den Wymelenberg (2015) proponen que una de las preguntas en el diseño de fachadas esté relacionada con las estrategias adecuadas para el diseño óptimo del sistema de iluminación natural que potencialice la eficiencia energética de la edificación para cada edificio específico.

Cinco son los factores del diseño que tienen un alto impacto en los efectos de climatización anual y demanda energética en una edificación (Becker, Goldberger, & Paciuk, 2007): Orientación de las ventanas, áreas de las ventanas, tipo de vidrio, resistencia térmica de los muros exteriores y resistencia Térmica del techo. De estos factores, tres están en relación directa con las decisiones de diseño lumínico.

La incorporación de la iluminación natural como premisa de diseño es una potente estrategia para reducir, de manera eficiente, el consumo energético (Bodart et al., 2008). En esa línea de ideas, Ronita y Ramit (2016) evidenciaron este mismo potencial que la iluminación natural tiene como premisa de diseño en edificaciones residenciales en Mumbai, India. En el contexto indio, esta incorporación resulta preponderante sí se considera que se espera que una gran cantidad de edificaciones residenciales se construyan en corto y mediano plazo para sectores sociales que

usualmente no tienen acceso a sistemas de aire acondicionado. En su investigación, los autores encontraron que se puede disminuir el consumo de energía hasta en un 26% en una edificación naturalmente ventilada y orientada a sureste con aberturas de tamaño similar al 20% del área de piso.

La importancia de la iluminación natural en el diseño de viviendas de bajo presupuesto es, incluso, reconocida por uno de los eventos relacionados con sostenibilidad ambiental y bioclimática más importantes a nivel mundial: Solar Decathlon.

Solar Decathlon es un concurso internacional de arquitectura, construcción e ingeniería que tiene como fin incentivar el diseño y construcción de viviendas cómodas, sostenibles y energéticamente eficientes, que promueve la participación de Universidades en conjunto con empresas públicas y privadas. Las 10 pruebas del concurso son: arquitectura, ingeniería, construcción, innovación, desarrollo urbano y factibilidad, sostenibilidad, comunicaciones, condiciones de confort (térmico, acústico y lumínico), eficiencia energética y balance energético.

Este artículo presenta el proceso de diseño para la optimización de la iluminación natural en viviendas de bajo costo en el trópico, como estrategia para favorecer la comodidad visual y reducir el consumo energético, en

un sector de la población en donde mínimos incrementos económicos en los servicios públicos, se convierten en factores con alta importancia.

Dentro de este proceso de diseño, la posibilidad de predecir el comportamiento lumínico, se convierte en una potente herramienta para la toma de decisiones con implicaciones estéticas y funcionales en la vivienda.

135

Desarrollo

Requisitos de iluminación natural para Solar Decathlon

En el concurso Solar Decathlon versión 2015, una de las pruebas estuvo asociada a la comodidad ambiental (Prueba N.5: condiciones de confort). Para evaluar el aprovechamiento de la luz natural fueron realizadas mediciones y monitoreos a partir de las 5 a.m. hasta las 6 p.m., de tareas visuales específicas realizadas durante el transcurso de la etapa de competencia. Las mediciones, que consistieron en estimaciones del nivel lumínico interior sobre algunos puntos específicos de la vivienda a través del uso de luxómetros, posibilitaron el cálculo del Factor de Luz Diurna -Daylight Factor.

¹ Para efectos del concurso, se asumió el Factor de Luz diurna como la razón entre la iluminancia en un punto al interior del proyecto y la iluminancia exterior bajo las condiciones del cielo local. Originalmente, El Factor de Luz Diurna fue propuesto como métrica para latitudes con cielos muy nublados y prontamente comenzó a adoptarse, por la facilidad de su determinación, para localidades con otro tipo de cielos.

De acuerdo con los lineamientos del concurso, los luxómetros se localizaron en el salón de cada vivienda a 0,9m de altura y a una distancia mínima de 2,0m en relación con la ventana. La radiación solar o fuentes de luz no incidieron directamente sobre el sensor. A pesar de la latente necesidad de actualizar los valores de Daylight Factor en función de las condiciones de cielo (Mardaljevic, 2013), el concurso determinó valores ideales de esta métrica, similares a los utilizados en otras latitudes con cielos predominantemente nublados. Para alcanzar la totalidad de los puntos en esta subprueba, en los lineamientos del concurso se especificó que debería mantenerse el Factor de Luz Diurna por encima de 4%. En caso de mantenerlo entre 2,5% y 4,0% serían otorgados puntos parciales.

Adicional a la prueba de comodidad ambiental, la importancia de la iluminación natural permea otras pruebas, como las de arquitectura y sostenibilidad. En la prueba de arquitectura, la cual busca la eficiencia espacial en relación con los materiales y las estrategias bioclimáticas para ser replicado en el contexto de la vivienda social en América Latina y el Caribe, se buscó la definición espacial a través del diseño de la iluminación.

Por otro lado, en la prueba de sostenibilidad, la cual persiguió como objetivo reducir el impacto ambiental a través de las diferentes estrategias asociadas a principios de arquitectura, ingeniería y construcción, eficiencia energética y diseño urbano y

factibilidad, se infiere la importancia de la integración bioclimática con los principios ecoeficientes, como la optimización de estrategias naturales para reducir el consumo energético a través del manejo óptimo de la luz natural y la ventilación cruzada, además de la selección de los materiales.

Caracterización climática de Santiago de Cali

La interacción entre el ambiente construido y el clima determinan, en gran medida, el desempeño bioclimático de un proyecto en términos de la comodidad térmica, la comodidad visual y la eficiencia energética. El desempeño de un proyecto, ya en términos de la iluminación natural, está condicionado, en gran medida, por la distribución de luminancias en la bóveda celeste, la disponibilidad de horas de sol y la posición aparente del sol en el cielo. La determinación de estas variables es fundamental para la prefiguración de las estrategias arquitectónicas, técnicas y tecnológicas que mejor contribuyan con el desempeño lumínico del proyecto al tiempo que favorezcan la comodidad térmica del proyecto.

Para Santiago de Cali (lat. 03° 25'N, long. 76 ° 35'W, alt. 995 m.s.n.m.), debido a su cercanía geográfica con el paralelo ecuatorial, además de no poseer estaciones climáticas marcadas a lo largo del año, la ciudad posee una disponibilidad de luz natural de 12 horas aproximadamente

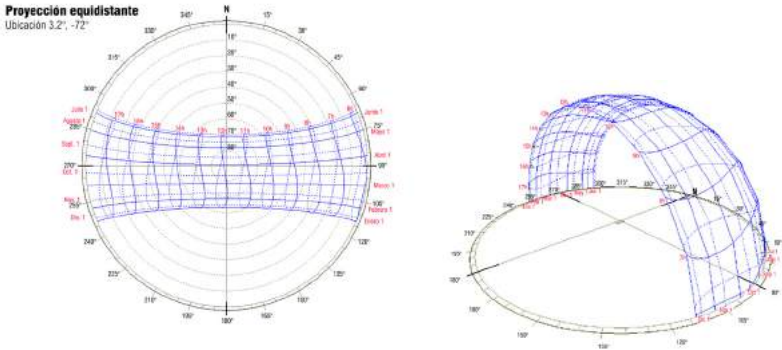


Figura 1. Diagrama de sol para la ciudad de Cali

durante todo el año. Por otro lado, el sol permanece por un periodo equivalente casi a la mitad del año en una orientación levemente hacia norte o sur de la bóveda celeste (Figura 1).

En relación con las condiciones de la bóveda celeste, se puede decir que

en Cali predomina un tipo de cielo parcialmente nublado (Figuras 2 y 4) con periodos alternados de sol directo, en promedio 5,1 horas al día de brillo solar de acuerdo con la Figura 3, y nubosidad variable, entre 10% y 70% con niveles lumínicos exteriores que varían entre 15 000lux y 100 000lux.



Figura 2. Cielo predominante en Cali. (Archivo arq. Diego Gómez Etayo)

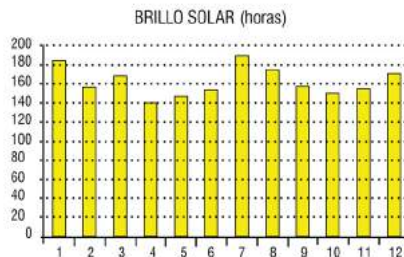


Figura 3. Horas-mes promedio de brillo solar, ciudad Cali. (Carta Climatológica IDEAM. <http://bart.ideam.gov.co/clciu/cali/>)

Esta característica se confirma en el análisis de los tipos de cielo realizado a partir de la radiación difusa horizontal y de la radiación directa normal del archivo climático de la ciudad de Cali, haciendo uso del modelo de Perez,

Seals y Michalsky (1993) (Figura 4). En esta se confirma la variabilidad de tipos de cielo de la ciudad de Cali a lo largo del año; por ejemplo, abril y octubre-noviembre son las épocas de mayor ocurrencia de cielos nublados.

138

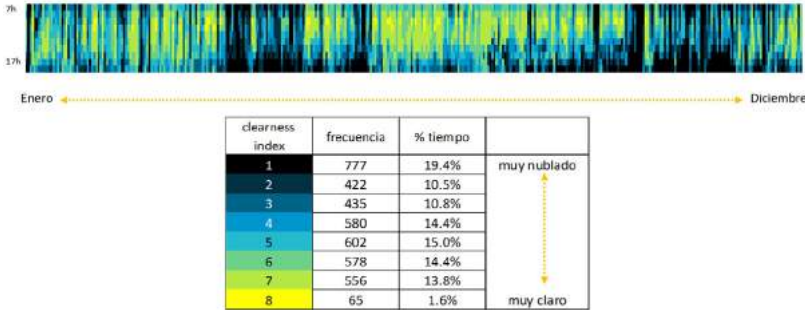


Figura 4. Cálculo del clearness Index de la ciudad de Cali de acuerdo all weather model. (Perez, Seals y Michalsky, 1993)

Prototipo de vivienda economica para el tropico: Mihouse

El prototipo Mihouse hace referencia a la propuesta arquitectónica con que encararon el concurso un grupo de estudiantes y profesores de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Buenaventura Cali y de la Universidad Autónoma de Occidente, con el apoyo, en temas relacionados con bioclimática, del personal de la Maestría en Bioclimática de la Universidad de San Buenaventura Medellín y de la oficina de asesoría bioclimática La.B arquitectura+bioclimática de la ciudad de Medellín.

La propuesta consiste en un prototipo de vivienda de 63m² distribuidos en una planta cuadrangular en la que se diferencia claramente la zona social de la zona privada. Son tres los módulos que conforman la vivienda y en cada uno de ellos se desarrollan las funciones básicas: social, habitaciones y servicios; los cuales se unen a través de la circulación (Figura 5).

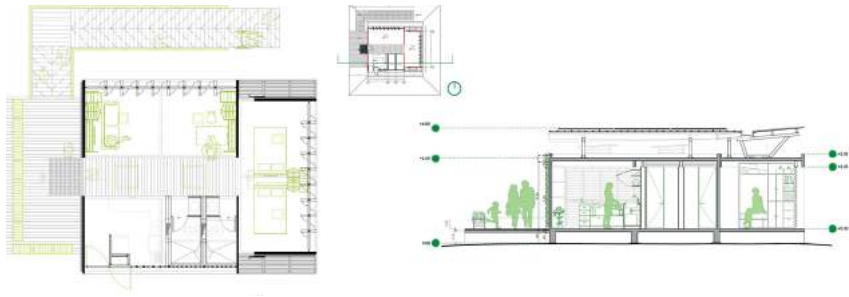


Figura 5. Planos de la propuesta Mihouse (Archivo MIHOUSE PD – Project Drawings)

A pesar de que desde las etapas iniciales del proceso proyectual el equipo de la propuesta Mihouse definió premisas de diseño ambiental encaminadas a encarar las 10 pruebas del concurso, debido a las altas temperaturas de la ciudad de Cali y a la abundancia de luz natural, gran parte de estas premisas se refirieron al control térmico. Evitar la exposición excesiva a la radiación solar directa y difusa, favorecer la ventilación cruzada y por convección e implementar materiales de alta resistencia térmica son ejemplos de varias de estas premisas.

Para aprovechar el recurso lumínico natural fue necesario conciliar las estrategias proyectuales de manera que atendieran simultáneamente los requerimientos térmicos y lumínicos. Esto significó dimensionar las aberturas de las fachadas con sus elementos de protección para reducir en el interior la incidencia solar directa, pero aprovechar la iluminación difusa.

Propuesta lumínica en el prototipo de vivienda Mihouse

En el aspecto lumínico, se aplicaron diferentes estrategias en el diseño arquitectónico del prototipo que garantizarían un aprovechamiento eficiente de la iluminación natural y a su vez comodidad visual. La apuesta lumínica se centró en tres estrategias básicas que fueron optimizándose a lo largo del proceso.

- i) Módulos móviles ubicados en la fachada para evitar la incursión solar en el espacio interior y evitar así un exceso de ganancia térmica no deseable en un clima cálido como el de Cali. A lo largo del proceso fueron realizados análisis para establecer la modulación ideal de los elementos y así garantizar protecciones solares óptimas y aberturas con el mayor tamaño posible.
- ii) Dentro del diseño inicial, se estudió la implementación de lucernarios en el corredor interior con el fin de garantizar una mejor

iluminación durante el día; si bien finalmente estos no fueron construidos en el prototipo final, hicieron parte de su propuesta lumínica. Durante el proceso fueron realizados análisis de predimensionamiento, a fin de garantizar máximo provecho lumínico, no incursión solar y favoreciendo el desempeño térmico.

iii) Por último, la decisión de los colores claros (colores con índice de reflexión altos) aplicados en los muros al interior del prototipo, respondían a la búsqueda de un mayor aprovechamiento de la luz natural que se pudiera reflejar en éstos.

A fin de garantizar un máximo aprovechamiento de la luz natural a través de la envolvente y al tiempo

que se definían aspectos relacionados con el desempeño térmico, fue definido un sistema de fachada compuesto por módulos con persianas de piso a techo. La disposición de elementos seriados en la fachada permite que exista una buena relación con el exterior y al mismo tiempo se evite el ingreso de radiación solar al espacio (Bullaro, 2015).

Los módulos consistían en bastidores metálicos con persianas en madera Teca. De manera estratégica y con los objetivos de maximizar el aprovechamiento lumínico y brindar acceso hacia las visuales al exterior, algunos de estos módulos fueron definidos abatibles en la zona social y en la zona privada (Figura 6). Para el módulo de servicio, debido a su tamaño y a la funcionalidad del espacio, se definió que lo módulos fueran proyectantes.



Figura 6. Disposición de paneles abatibles en fachada para mayor aprovechamiento de la luz natural (Archivo MIHOUSE/Archivo Arq. Laura

Durante el proceso de diseño, y de acuerdo con la evolución del proyecto, se fue perfeccionando el diseño del detalle de la fachada. De esta manera tanto la cantidad como la inclinación y disposición de los dispositivos de la persiana respondieron a la necesidad de garantizar sombra durante los meses de junio y diciembre (correspondientes a los solsticios de

verano e invierno respectivamente) y aprovechar al máximo la iluminación natural. Los criterios de modulación de los elementos estaban centrados en garantizar protección solar completa a lo largo del día. La Figura 7 ejemplifica el análisis de la protección solar en 2 horarios críticos desde el punto de vista solar.

Incursión solar fachada occidental

Detalle puerta

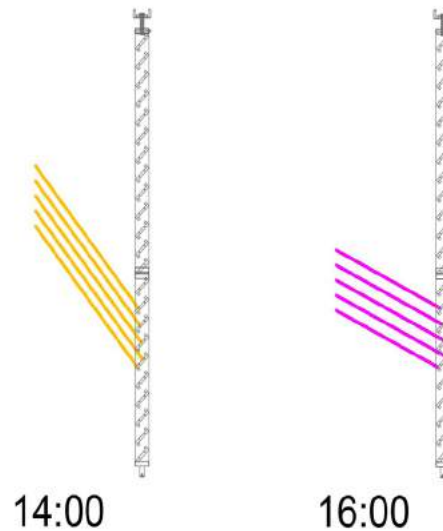


Figura 7. Análisis de incursión solar sobre las fachadas con persianas

Adicionalmente, durante el proceso fueron considerados lucernarios en la circulación central, los cuales, además de favorecer la ventilación natural, podrían ser aprovechados para maximizar la iluminación natural en este punto de la casa. Para aprovechar al máximo la iluminación, en la propuesta se

escogieron materiales al interior de colores claros (techos y muro entre cocina y baño de color blanco, divisiones de los baños los muebles multifuncionales en color crema, y los muebles de cocina y baño en chapilla de madera color claro), en contraste con el color gris del concreto, el cual se buscó fuera lo más claro posible (Figura 8).



Figura 8. Materiales y colores al interior de cocina y salón (Archivo Mihouse)

Simulación computacional como herramienta proyectual

Durante el proceso proyectual fue utilizado el software Dialux, con el objetivo de prever las condiciones lumínicas de la zona social del proyecto. En el software fueron realizadas simulaciones computacionales para 3 fechas (diciembre 21, junio 21 y marzo 21) en 3 horarios (9:00, 12:00 y 15:00) con 3 tipos de cielo (despejado, parcialmente nublado, nublado). Para las simulaciones fueron incluidas las siguientes

reflectancias: piso 30%, paredes 30%, cielos 70% (ver Figura 9). Los resultados de las simulaciones se muestran en la Figura 10. En tal gráfico se evidencia que la zona social, en diciembre, posee niveles lumínicos que oscilan entre 450lux y 1200lux en la zona donde, por reglamento del concurso, debería ubicarse el sensor (Figura 11), valores que además están dentro del rango recomendado de iluminancias para este tipo de espacios (ISO/CIE, 2005). Se resalta que no hay variaciones significativas de la distribución lumínica entre cielos parcialmente nublados y despejados.

² Haciendo uso del gráfico de los tipos de cielo del archivo climático a través del clearness index (Figura 4), es posible identificar los tipos de cielo predominantes en las fechas en las que se desarrolló el concurso. A pesar de esto, los autores optaron por realizar simulaciones bajo diversos tipos de cielo a fin de garantizar buenas condiciones de iluminación aún en cielos nublados.

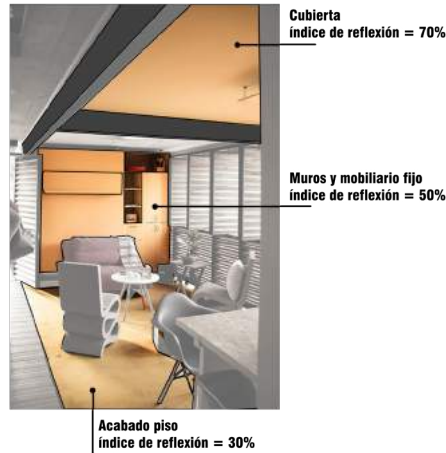


Figura 9. Propiedades ópticas de los materiales (Archivo Mihouse)

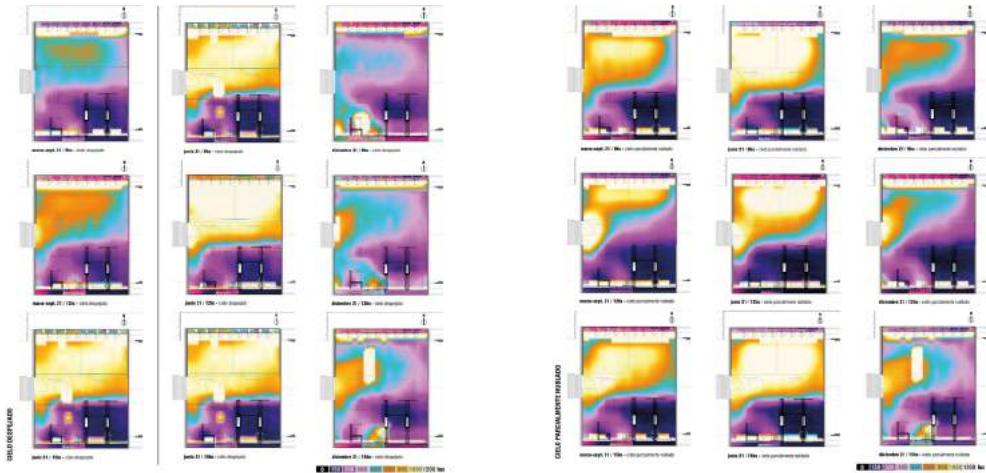


Figura 10. Simulación lumínica con cielo despejado(a) y cielo parcialmente nublado(b). Zona Social



Figura 11. Localización de sensores

Cálculo del Daylight Factor

A pesar de los razonablemente altos niveles lumínicos valorados en la simulación computacional para la zona social, los cálculos del Factor de Luz Diurna - Daylight Factor establecidos por el concurso evidenciaban un valor por debajo del valorado como aceptable.

144

En las simulaciones computacionales se estimó, con cielo nublado (18.000 lux aprox. de iluminancia exterior), un DF de 2,67% y una iluminancia interior de entre 360 y 520 lux. Este tipo de cielos es muy poco frecuente en la ciudad de Cali, principalmente entre las 08h y las 16h, tal como se evidenció en la Figura 3. Para el cielo parcialmente nublado y el cielo despejado se estimaron vía simulación computacional unas relaciones entre iluminancia interior en el punto establecido por el concurso e iluminancia exterior (E_{int}/E_{ext}) de 1.5-2.0% y 1.25-1.85% respectivamente para diciembre 21, lo que implica niveles lumínicos interiores de 450-600lux para cielos parcialmente nublados (30.000 lx aprox. de iluminancia exterior) y 1000-1500lux para cielos despejados (80.000lux aprox. de iluminancia exterior). De acuerdo con ISO/CIE (2005), los niveles lumínicos adecuados para este tipo de espacios no sobrepasan los 500lux. Es importante tener en cuenta que estudios realizados en condiciones de cielo y para espacios similares definen rangos ideales de DF entre 1% y 2% según la posición del punto de medición, teniendo en

cuenta la disponibilidad de luz natural exterior.

Estas relaciones evidencian que, debido a la disponibilidad lumínica de la ciudad de Cali, los valores de DF definidos como óptimos por el concurso exceden contundentemente niveles lumínicos recomendados para ambientes de vivienda. Incluso, podrían generar deslumbramiento: de acuerdo con las condiciones del concurso, con cielo despejado, poseer DF entre 2.5% y 4% implica niveles lumínicos interiores de entre 2000lux y 3200lux aproximadamente.

Mediciones en el ambiente construido

En el marco del desarrollo del concurso, por parte del equipo de jurados fueron realizadas mediciones del nivel lumínico (lux) en el interior del prototipo durante 6 días. De los datos registrados, los considerados válidos se muestran en la Figura 12. Los datos no válidos hacen referencia a datos erróneos registrados por el luxómetro o a instantes en los que por la dinámica del concurso fue implementada la iluminación artificial. Como se muestra en la Figura 12, los mayores valores en la iluminación se concentran entre las 13 y 17 horas; sin embargo, en el día 6 hay valores altos desde los primeros registros en la mañana. El valor máximo que se registró fue de 1 635 lux en el día 4 a las 17 horas.



Figura 12. Monitoreo de iluminación natural en la villa solar

Con el fin de realizar un análisis más detallado del comportamiento en un día, se presentan los datos medidos en el día No. 6 por ser el día con los datos más completos. En la Figura 13

se observa que los niveles altos se presentan a partir de las 10:00 y se mantienen hasta casi las 17:00., con rangos entre 1.341 a 1.051 respectivamente.

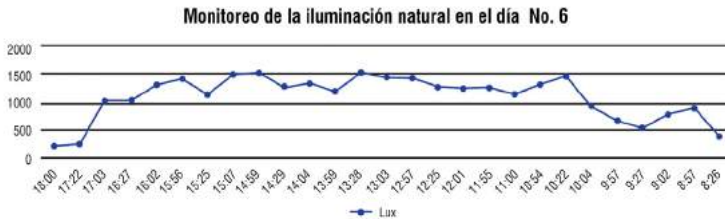


Figura 13. Monitoreo de iluminación natural día No. 6 (día típico) en la Villa Solar

Si bien no se tiene registro de la caracterización de los cielos durante los días de medición, se evidenciaron cielos que oscilaban entre parcialmente nublados, parcialmente nublados con sol y despejados. Los niveles lumínicos interiores medidos alcanzan valores razonablemente aproximados a los identificados en la simulación computacional, es decir, entre 1000 y 1500lux con cielos despejados y parcialmente nublados. Estos niveles incluso superan lo recomendado por ISO/CIE (2005) y por el RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2012), en el caso del

territorio colombiano, para espacios con similares características

Conclusiones

La incorporación de la iluminación natural en el proceso de diseño arquitectónico ha demostrado, en investigaciones y experiencias previas, ser una excelente estrategia para reducir el consumo energético asociado a la iluminación artificial en las horas del día. Estas razones parecen ser más importantes en el diseño de viviendas de bajo presupuesto, pues mínimamente implicarían un menor

gasto en servicios públicos para las personas que la habitarían.

Para predecir el comportamiento lumínico, la simulación computacional ha demostrado ser una herramienta que, si bien usada, serviría para predecir con razonable nivel de exactitud los niveles lumínicos interiores y que, por tanto, podría servir para predimensionar aberturas laterales y cenitales.

Para alcanzar resultados confiables en las simulaciones, uno de los requisitos es especificar el tipo de cielo que mejor describa la realidad de la localidad geográfica donde se instalará el proyecto. A pesar de esto, en Colombia no se tiene mucha información acerca de la caracterización de los tipos de cielo de la región y, por tanto, las simulaciones podrían arrojar

resultados engañosos. Esta limitación afecta también la escogencia de la métrica para estimar el desempeño lumínico de una edificación.

El Factor de Luz Diurna, Daylight Factor, ha sido por años una de las métricas más usada a pesar de las limitaciones. En el caso del desempeño lumínico de Mihouse, el factor de luz diurna demostró no ser muy útil pues, ante la alta disponibilidad lumínica exterior producto de los tipos de cielo predominantes en la ciudad de Cali, bajos valores de la métrica equivalen a niveles lumínicos considerados altos para salas o comedores en viviendas. Para tener mejores predicciones del comportamiento lumínico en espacios interiores en el territorio colombiano, es necesario caracterizar los tipos de cielo y escoger métricas acordes con los resultados de tal caracterización.

Referencias

- Bardhan, R. & Debnath, R. (2016). Towards daylight inclusive bye-law: Daylight as an energy saving route for affordable housing in India. *Energy for Sustainable Development*, 34, 1-9.
- Bodart, M., De Peñaranda, R., Deneyer, A., & Flamant, G. (2008). Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools. *Building and Environment*, 43(12), 2046-2058.
- Bouberkri, M. (2008). *Daylighting, architecture and health*. New York: Routledge.
- Bouberkri, M. (2014). *Daylighting Design: Planning Strategies and Best Practice Solutions*. Alemania: Birkhäuser.
- Bullaro, L. (2015). Módulos habitacionales ecológicos. *Arquetipo*, 11, 7-23.
- Filippín, C. (2005). *Uso eficiente de la energía en edificios*. Santa Rosa, La Pampa: Ediciones Amerindia.
- IEA International Energy Agency. (2016). *Key World Energy Trends. Excerpt from: World Energy Balances*. Disponible en <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorldEnergyTrends.pdf>
- ISO/CIE (2005). ISO 8995:2002 CIE S 008/E-2001 *Lighting of indoor work places. Technical corrigendum 1*.
- Mardaljevic, J. (2013). *Rethinking daylighting and compliance*. *Journal of Sustainable Design & Applied Research*, 1(3). doi:10.21427/D7HJ0C
- Meek, C. & Van Den Wymelenberg, K. (2015). *Daylight and integrated lighting design*. Oxon: Routledge / Norma Técnica Colombiana.
- Ministerio de Minas y Energía (2010). *Anexo General: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público*. Bogotá: Retilap.
- Ministerio de Minas y Energía (2016). *Plan de acción indicativo de eficiencia energética –PAI PROURE 2017 – 2022*. 2016. Bogotá: Autor.
- Monteoliva, J. y Pattini, A. (2013). Iluminación natural en aulas: análisis productivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleado. *Ambiente Construido*; 13(4) 235-248.

Pérez, Ri., Seals, R. & Michalsky, J. (1993). All-weather model for sky luminance distribution—preliminary configuration and validation. *Solar energy*, 50(3), 235-245.

Ramos, H., Bedoya, A. y Agudelo, C. (2017). El confort en la vivienda social en Colombia. Caso las 100.000 viviendas gratis y su implementación en Barranquilla, Colombia. *Arquetipo*, 14, 45-68.